



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Aplicación de la Dinámica de Sistemas a la Sostenibilidad
Medioambiental: Gestión del Parque Nacional de Ordesa y
Monte Perdido

Autor/es

SERGIO SOTO MIRANDA

Director/es

ELISEO PABLO VERGARA GONZÁLEZ y IVÁN LUIS PÉREZ BARRÓN ,

Facultad

Escuela de Máster y Doctorado de la Universidad de La Rioja

Titulación

Máster Universitario en Dirección de Proyectos

Departamento

INGENIERÍA MECÁNICA

Curso académico

2017-18



***Aplicación de la Dinámica de Sistemas a la Sostenibilidad Medioambiental:
Gestión del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido***, de SERGIO SOTO
MIRANDA

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**



Aplicación de la Dinámica de Sistemas a la Sostenibilidad Medioambiental: Gestión del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido



Sergio Soto Miranda

**MASTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE
PROYECTOS**

Julio 2018

Trabajo de Fin de Máster

APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS A LA SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL: GESTIÓN DEL PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO

Autor

Sergio Soto Miranda

Tutor: Eliseo Pablo Vergara González

Cotutor: Iván Luis Pérez Barrón

MASTER:

Master en Dirección de Proyectos (851M)

Escuela de Máster y Doctorado



AÑO ACADÉMICO: 2017/2018

RESUMEN/ABSTRACT

APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS A LA SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL: GESTIÓN DEL PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO

Sergio Soto Miranda

Julio de 2018. Logroño: Universidad de La Rioja.

RESUMEN: La gestión de espacios naturales, buscando el equilibrio entre el acceso de visitantes y la sostenibilidad medioambiental, es un reto que ya ha sido abordado en diversos trabajos científicos. Este estudio tiene como objetivo abordar esta problemática desde el enfoque de la dinámica de sistemas. Se ha construido un modelo para simular el flujo de visitantes en un día de verano al sector Ordesa del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Empleando la metodología de la dinámica de sistemas y *Vensim*, se puede intervenir sobre las variables que afectan al acceso de visitantes, estacionamiento de vehículos, y al sistema de autobuses lanzadera que existe entre el parking de Torla y la Pradera de Ordesa, respetado la capacidad de carga del sector. Se ha concluido que la frecuencia y el número de autobuses lanzadera son dos de los factores que más influencia tienen en el flujo de visitantes que llegan a los senderos. Con este estudio se demuestra la utilidad que tiene para los gestores del parque disponer de un modelo de dinámica de sistemas con el que simular diferentes escenarios y así adoptar las estrategias necesarias.

Palabras clave: Dinámica de Sistemas, Modelo, Parque Nacional, Ordesa, Vensim, Diagramas de Forrester, Sostenibilidad Medioambiental.

ABSTRACT: Managing natural spaces, with a balance between visitors and environmental sustainability, is a challenge already tackled in many scientific papers. This study targets this issue from a system dynamics approach. A model has been constructed to simulate the flow of visitors in a summer day to the Ordesa sector in the Spanish Ordesa and Monte Perdido National Park. Using system dynamics methodology and *Vensim*, it is possible to intervene in those variables that affect the arrival of visitors, vehicles parking and the shuttle bus system between the Torla parking and the Ordesa meadow, in accordance with this sector's carrying capacity. It can be concluded that the schedule and the number of shuttle buses are two of the factors with more influence over the flow of visitor arriving to the trails. This study proves the usefulness of system dynamics modelling to the park managers when they need to simulate different scenarios and adopt proper strategies.

Keywords: System Dynamics, Model, National Park, Ordesa, Vensim, Forrester Diagrams, Environmental Sustainability.

ÍNDICE

CONTENIDO

página

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Sostenibilidad y dinámica de sistemas	9
Los parques nacionales como sistema dinámico	11
Problemática sobre saturación e impacto ambiental: el Parque Nacional Ordesa y Monte Perdido	12
Descripción del Parque de Nacional Ordesa y Monte Perdido	13
El origen de los Parque Nacionales	13
Características del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido	14
Los accesos al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido	15

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

Objeto del estudio	16
El estado del arte en dinámica de sistemas	19
Modelos de sistemas dinámicos aplicados a la sostenibilidad medioambiental.....	20
Modelos sobre espacios naturales en España.....	24
Estudios sobre el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido	26

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales.....	29
Origen de los datos.....	29
Análisis de la validez de los datos.....	30

Métodos.....	31
Dinámica de sistemas	31
El modelo de un sistema dinámico.....	32
Los diagramas causales.....	32
Los diagramas de Forrester	33
Desarrollo de un modelo de Dinámica de Sistemas.....	37
Vensim PLE.....	41
Capacidades de Vensim	42
Metodología de análisis.....	45
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Resultados	47
Descripción del problema.....	47
Modelo conceptual.....	50
Descripción del modelo	50
Lista de variables	52
Diagrama de flujos.....	57
Programación del modelo	61
Análisis de sensibilidad	61
Verificación	62
Validación	65
Diseño de la optimización	65
Escenarios	65
Estrategias	65
Simulación	65
Discusión.....	67
Ventajas	67
Inconvenientes	68
Posibles mejoras.....	69
Futuras líneas de investigación	69
Modelo en temporada baja.....	70

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

ANEXO I-Tablas estadísticas

ANEXO II-Reportaje fotográfico

ANEXO III-Archivos (en soporte informático)

LISTA DE ILUSTRACIONES

página

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Fig.1.1.- Noticia en el Heraldo de Aragón (27 de mayo de 2018).....	12
---	----

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

Fig. 2.1.- Número de visitantes mensuales de los parques “Tipo I: estacionalidad marcada” en 2015.....	27
---	----

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Fig. 3.1.- Etapas de la modelización.....	39
Fig. 3.2.- Pantalla principal de <i>Vensim</i>	42
Fig. 3.3.- Herramientas de esquema	42
Fig. 3.4.- Herramientas de análisis de simulaciones	43
Fig. 3.5.-Herramientas de análisis estructurales.....	43
Fig. 3.6.- Herramientas de simulación	44
Fig. 3.7.- Modificación de valores mediante SyntheSim.....	44
Fig. 3.8.- Tabla Lookup	45

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fig. 4.1.- Visitantes anuales al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (1989-2015)	48
Fig. 4.2.- Estacionalidad de las visitas al sector Ordesa	48
Fig. 4.3.- Capacidad de carga diaria por sectores según el PRUG.....	49
Fig. 4.4.- Mapa Parque Nacional Ordesa y Monte Perdido. Sectores. Lanzadera Torla-Pradera de Ordesa.....	51
Fig. 4.5.- Detalle lanzadera Torla-Pradera de Ordesa.	52

Fig. 4.6.- Afluencia de visitantes por hora	53
Fig. 4.7.- Número de autobuses lanzadera contratados por día	54
Fig. 4.8.- Frecuencia de subida de autobuses lanzadera	55
Fig. 4.9.- Frecuencia de bajada de autobuses lanzadera	55
Fig. 4.10.- Sub-sistema de turismos	58
Fig. 4.11.- Sub-sistema de autobuses	58
Fig. 4.12.- Sub-sistemas de lanzadera y de espera de acceso a pradera	59
Fig. 4.13.- Diagrama de Forrester del “Modelo TORLA”	60
Fig. 4.14.- Llegadas de visitantes por hora.....	62
Fig. 4.15.- Sub-sistemas de turismos y autobuses	63
Fig. 4.16.- Visitantes en el parking esperando a montar en lanzadera	64
Fig. 4.17.- Entradas y salidas de visitantes en lanzadera a la pradera.....	64
Fig. 4.18.- Google: Visitantes por hora al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante un sábado	68
Fig. 4.19.- Modelo en temporada baja.....	71
Fig. 4.20.- Llegadas y salidas en temporada baja. Visitantes en pradera en temporada baja.....	71
Fig. 4.21.- Ocupación parking en temporada baja	62

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Sostenibilidad y dinámica de sistemas

En la actualidad, la receta para conjugar desarrollo económico, social y medioambiental, de forma sostenible, de manera que permita mantener y mejorar nuestras condiciones de vida, sin hipotecar las de generaciones futuras, y sin afectar irreversiblemente a las condiciones y equilibrio en el planeta Tierra, constituye sin lugar a dudas el mayor de los desafíos para la humanidad.

Esta omnipresente preocupación por la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente no es un fenómeno nuevo, y ya desde el siglo pasado, hemos comenzado a ser conscientes tanto del impacto que la acción del ser humano tiene a escala global, como de las limitaciones de disponibilidad sobre determinados recursos y fuentes de energía. Esto ha llevado a que desde todos los ámbitos se comenzaran a analizar las causas, a hacer predicciones y a buscar consensos y acuerdos para tomar decisiones con las que enmendar la situación.

Sin pretender hacer una crónica exhaustiva desde los albores del ecologismo, sí que considero relevante para los fines de este estudio destacar a continuación los hitos principales en el estudio científico de la sostenibilidad ya que, como veremos más adelante, éstos evolucionaron paralelamente al estudio de la dinámica de sistemas.

En 1896, el físico sueco Svante August Arrhenius fue el primero en relacionar el incremento de concentración de CO₂ en la atmósfera con el incremento de temperatura en la superficie de la Tierra. Posteriormente, no sería hasta la década de los 70 cuando la comunidad científica comienza a ver el calentamiento global como una amenaza.

Es precisamente en el año 1972 cuando se publicó un trascendental informe del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), encargado por el *Club de Roma*, que se tituló *Los límites del crecimiento*.

La autora principal, Donella Meadows, junto con Dennis Meadows y Jørgen Randers, llegó a la devastadora conclusión de que, de seguir así los incrementos de población producción, contaminación y consumo de recursos naturales, en 100 años se alcanzarían los límites de capacidad del planeta, lo cual es insostenible.

Para realizar este informe desarrollaron una simulación informática denominada *World3*, con la que recrearon el crecimiento de la población, el crecimiento económico y el incremento de la huella ecológica para los próximos 100 años, a partir de los datos disponibles en ese momento.

Esta simulación nos presenta un sistema dinámico en el que los incrementos de consumos de recursos naturales llevan hasta su agotamiento, con el consiguiente colapso de la agricultura y la industria, que produciría un descenso de la población. Se hacía por tanto necesario buscar la manera de “equilibrar” el sistema.

Este informe sería una referencia clave para la *Declaración de Estocolmo*, nacida de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (1972, Estocolmo), en la que se comenzó a tomar conciencia y a adoptar medidas sobre otro problema medioambiental que ya estaba haciendo ver sus efectos: la lluvia ácida.

Posteriormente, el estudio sobre los límites del crecimiento tendría nuevas reediciones coincidiendo con el 20, 30 y 40 aniversario de su publicación, revisando los resultados originales, y empleando nuevos datos y técnicas de simulación.

La simulación *World3* que hemos mencionado, no era sino una evolución de los modelos de sistema socio-económico mundial *World1* y *World2* creados por el investigador del MIT Jay W. Forrester, a la sazón, creador de la Dinámica de Sistemas.

La dinámica de sistemas (*system dynamics*) es un campo dentro de la Teoría de Sistemas que fue desarrollado por un grupo de investigadores liderado por Jay W. Forrester en el MIT durante la década de 1950.

En su origen, nació como un método para comprender la estructura y las dinámicas internas de los procesos industriales y del desarrollo urbano.

A raíz del *Club de Roma* y del informe sobre los límites del crecimiento, se puso de manifiesto que estos modelos de sistemas dinámicos eran aplicables a algo más que la dinámica industrial o la dinámica urbana, y se convino adoptar la denominación de dinámica de sistemas, con la que se conoce actualmente, para la metodología empleada para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas y su comportamiento a través del tiempo.

Desde entonces, esta metodología se ha extendido entre varias disciplinas como una herramienta para el análisis de las relaciones existentes entre los distintos componentes de un sistema, la simulación de escenarios futuros y el uso de esta información para la mejora de la gestión de los sistemas.

En los últimos 50 años, la dinámica de sistemas se ha convertido en una metodología bien establecida que se ha aplicado en una gran variedad de campos científicos: economía, ecología, educación, ingeniería, política, sociología, gestión de recursos, etc.

Son cada día más numerosas las publicaciones científicas sobre dinámica de sistemas, y como evento divulgativo más importante, destaca la conferencia anual de la *System Dynamics Society*.

Los parques nacionales como sistema dinámico

Aunque en este estudio siempre se va a estar haciendo referencia a parques nacionales, y más en concreto al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, lo expuesto con respecto a los mismos bien puede ser aplicable a cualquier espacio natural sometido a una figura de protección: Parque Nacional, Parque Natural, Reserva de la Biosfera, Lugar de Interés Comunitario (LIC), Zona de Especial Conservación (ZEC), Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), espacios de la Red Natura 2000, etc.

La gestión y protección de estos espacios enfrenta a dos premisas. Por un lado, la necesidad de preservarlos de cualquier impacto que pudiera alterar de manera irreversible su configuración medio ambiental. Y por otro, el derecho de la sociedad a acceder a los mismos para desarrollar distintos tipos de actividades (socioeconómicas, culturales, recreativas, investigación) y poder conocer y disfrutar de tan valiosos recursos.

De esta manera, vemos que un parque nacional se podría concebir como un sistema dinámico, en el que tenemos unas entradas (visitantes, vehículos), que van a ir variando durante el tiempo (bien a escala intradía, o mensual, anual, ...), y que se van a traducir en una serie de salidas, que podrán ser posteriormente interpretadas y cuantificadas como impacto ambiental, ingresos económicos, u otras.

Este enfoque de los parques nacionales como sistema dinámico es una disciplina de estudio con varias décadas de labor investigadora. Se ha abordado recurriendo a distintos enfoques, desde lo más centrados en los impactos medioambientales, pasando por los de gestión, hasta los socioeconómicos. Y a su vez, ha habido estudios de dimensión temporal intradía, y otros con una visión más a largo plazo (meses, años).

Sirvan como ejemplo los trabajos de autores estadounidenses, país en el que dada la importancia que otorgan a sus parques nacionales, hay profusa bibliografía al respecto. De ellos destacaría a [Nguyen \(2012\)](#)¹ y su estudio sobre la gestión del acceso de visitantes al Glacier National Park, a [Roberts y Bierj \(2001\)](#)² con su estudio sobre el uso de embarcaciones en el descenso del Cañón del Colorado, y a [White et al. \(2012\)](#)³ y su trabajo modelando la capacidad de visitantes y transporte del parque nacional de Yosemite. En nuestro país también tenemos ejemplos muy interesantes, como el de [Um y Momo \(2016\)](#)⁴, en el que emplearon el software *Vensim* para

¹ Nguyen, T., 2012. *System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana*. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012). Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>

² Roberts, C. A., Bierj, J. A., 2001. *Impacts of Low flow Rates on Recreational Rafting Traffic on the Colorado River in Grand Canyon National Park*. Arizona: Grand Canyon Monitoring and Research Center.

³ White, D. D., Tschuor, S., Byrne, B., 2012. *Assessing and Modeling Visitors' Evaluations of Park Road Conditions in Yosemite National Park*. Hancock: The George Wright Forum.

⁴ Um, E., Momo, F., 2010. *Modelo de simulación del turismo ecológico en la isla de Gran Canaria basado en un modelo de simulación con Vensim*. Boletín de Dinámica de Sistemas. Obtenido de <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/1210c.htm>

simular un modelo de turismo ecológico en la isla de Gran Canaria, y el de Abellán et al. (2000)⁵, en el que simulaban los impactos medioambientales del turismo en espacios naturales.

Problemática sobre saturación e impacto ambiental: el Parque Nacional Ordesa y Monte Perdido

La popularización de los parques nacionales como destino turístico, así como las mayores facilidades de acceso debido al avance de los medios de transporte y la mejora de infraestructuras, han dado lugar a situaciones de saturación, que impiden que dicha experiencia sea satisfactoria, y lo que es aún peor, pueden deteriorar y afectar a ese medio natural protegido.

La mejora por tanto de la gestión de los parques nacionales es desde hace tiempo una preocupación objeto de estudios y debates científicos, tanto a nivel internacional como nacional, como más adelante se detallará en el capítulo 2 “Estado del Arte”.

Sirva de ejemplo para ilustrar esta problemática la siguiente noticia⁶:

Heraldo de Aragón, noticia del 27 de mayo de 2018.



Fig.1.1.- Noticia en el Heraldo de Aragón (27 de mayo de 2018)

⁵ Abellán, M., Del Cerro, A., 2000. Propuesta de un modelo para identificar impactos ambientales del turismo en espacios naturales. Cuadernos de Turismo 5, 7-17.

⁶ Obtenido el 26 de junio de 2018 de <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca-provincia/2018/05/27/alcaldes-ordesa-piden-aprovechar-centenario-para-mejorar-los-accesos-parque-1246091-1101026.html>

“Alcaldes de Ordesa piden aprovechar el centenario para mejorar los accesos al parque”.

En esta noticia varios alcaldes de la zona piden un plan de acción aprovechando los actos de celebración del centenario del parque, para realizar mejoras que consideran necesarias y urgentes. Principalmente demandan la mejora de los accesos a los distintos sectores del parque. Junto con los empresarios de la región, denuncian que hay deficiencias en la capacidad de acceso, creándose cuellos de botella, y reclaman medidas alternativas como un sistema de vehículos lanzadera similar al de Torla para poder visitar los primeros 8 kilómetros del cañón de Añisclo, mejora del asfaltado de las carreteras de acceso y de los parkings, completar las obras de los túneles, ensanchar vías, rotondas, etc. En definitiva, soluciones para los problemas de saturación que se viven cada verano en el parque.

Vemos en esta noticia la preocupación ante los problemas de saturación del parque y cómo se plantean distintas alternativas (nuevos aparcamientos, mejora de accesos, sistema de lanzadera, ...), que se implementarían a través de planes, programas y proyectos.

Esto nos reafirma en la pertinencia, oportunidad e idoneidad del presente estudio.

Descripción del Parque de Nacional Ordesa y Monte Perdido

El Parque nacional de Ordesa y Monte Perdido está ubicado en el Pirineo oscense, íntegramente en la comarca del Sobrarbe, Aragón (España). Se reparte entre los términos municipales de Bielsa, Fanlo, Puértolas, Tella-Sin, Torla-Ordesa y Broto.

Es el segundo parque nacional más antiguo de España, tras ser declarado el 16 de agosto de 1918 mediante el Real Decreto 16-08-1918 con el nombre de Valle de Ordesa. El 13 de julio de 1982, con la Ley 52/1982 el Parque se amplió y se reclasificó bajo el nombre actual.

Actualmente el parque goza de diferentes figuras de protección a parte de la de Parque Nacional. En 1977 se declaró Reserva de la Biosfera, en 1988 ZEPA y en 1997 se convirtió en Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Es también LIC.

Precisamente en este año 2018 se celebra su centenario, con lo que este estudio coincide con esta efeméride y sirve de pretexto para reflexionar sobre su gestión, analizarla aplicando el método científico, y trata de aportar soluciones.

El origen de los Parque Nacionales

Los Parques Nacionales, figura pionera en la filosofía de la conservación, buscan la protección del paisaje y los sistemas naturales lo más fielmente posible a su estado original y salvaje. Los Parques Nacionales nacen como tales en el año 1872, en el territorio norteamericano de Yellowstone (Estados Unidos), como una seña de identidad de la nueva nación estadounidense que buscaba en la naturaleza un medio para consolidar su corta historia. La figura de Parque Nacional sería importada a España por medio de la Ley de Parques Nacionales del año 1916.

En 1918, dos años después de que se diera luz verde a la primera Ley de Parques Nacionales, y 25 días después de que se creara el primer Parque Nacional español –el Parque Nacional de la Montaña de Covadonga–, se declaraba el *Parque Nacional del valle de Ordesa o del río Ara*. El día 16 de agosto de 1918, un Real Decreto firmado por S. M. el rey Don Alfonso XIII en el Palacio de la Magdalena (Santander), establecía los límites del Parque Nacional de la Montaña de Covadonga y declaraba el del Valle de Ordesa o del río Ara, en el Pirineo del Alto Aragón, con el

establecimiento también de sus límites geográficos: “Al norte, todo lo largo de la cúspide de las murallas que asoman al valle de Ordesa, desde Mondarruego a la cascada de las Gradas de Soaso. Al este, la cascada de las Gradas de Soaso. Al sur, desde esta cascada a la cumbre de las murallas, siguiendo ésta por encima de la Faja de Pelay, hasta dar vista a Torla. Por el oeste, desde donde empieza la Faja de Pelay, mirando a Torla, al puente de los Navarros, Sopeliana, San Guino y Mondarruego”. Con esta nueva norma se pretendía, en palabras de Lucien Briet, proteger el valle “contra los leñadores, y los pescadores de truchas”, planteando como alternativa “repoblar los bosques y convertir el cañón incomparable en un lugar accesible sólo a sus visitantes; donde las flores, los árboles y los visitantes queden al abrigo de los caprichos y las necesidades del hombre”.

La idea actual de Parques Nacionales difiere muy poco de aquel concepto ideado en el año 1875 en Estados Unidos y que básicamente combinaba la conservación y protección de los valores naturales con el uso o disfrute público. Esta noción queda reflejada a día de hoy en la definición de Parque Nacional que enuncia la Ley 30/2014, de 3 de diciembre, de Parques Nacionales en su artículo 4: “Los parques nacionales son espacios naturales, de alto valor ecológico y cultural, poco transformados por la explotación o actividad humana que, en razón de la belleza de sus paisajes, la representatividad de sus ecosistemas o la singularidad de su flora, de su fauna, de su geología o de sus formaciones geomorfológicas, poseen unos valores ecológicos, estéticos, culturales, educativos y científicos destacados cuya conservación merece una atención preferente y se declara de interés general del Estado.”

Características del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido está compuesto por 15.608 has. Cinco municipios aportan parte de sus términos municipales a la zona central del Parque.

- Torla, 2.315 has.
- Fanlo, 8.265 has.
- Tella-Sin, 731 has.
- Puértolas, 2.473 has.
- Bielsa, 1.824 has.

El Parque Nacional dispone de una Zona Periférica de Protección de 19.679 has. como medida de protección especial para los recursos del Parque Nacional, incluidos los valores paisajísticos. Se trata de suelo no urbanizable de protección especial. En él sólo se permiten los aprovechamientos tradicionales compatibles con las finalidades del Parque.

Así mismo, el Parque Nacional cuenta también con una amplia Zona de Influencia que recoge el territorio de los términos municipales de Bielsa, Broto (Zona Periférica de Protección), Fanlo, Puértolas, Tella-Sin y Torla.

El actual Parque Nacional tiene su punto culminante en el Monte Perdido, coronado por su glaciar, los cañones de Añisclo y Escuaín, de modelado kárstico, y la cabecera del valle de Pineta, también de origen glaciar. Esta estructura geográfica de profundos valles e importantes desniveles (entre 700 mts. y 3.350 mts.) alberga un conjunto de ecosistemas verdaderamente original. Una gran variedad de paisajes integran la unidad que caracteriza al conjunto. Desde las partes bajas de los profundos cañones, cubiertas por frondosos bosques, pasando por las altas mesetas desnudas de árboles y ricas en pastos; para llegar a la fría, desértica y pétreo zona de

cumbres. Son abundantes las especies de fauna y flora de la alta montaña caliza pirenaica. Un paisaje de fabulosos contrastes modelado por el tiempo y la mano del hombre.

El Parque es un claro representante de los ecosistemas ligados a formaciones rocosas y erosivas de origen sedimentario. Sobresale por la belleza de sus paisajes, en los que se suceden crestas, barrancos, valles y cañones modelados por la acción glaciaria, y formas aplanadas que tienen su origen en fenómenos erosivos. La heterogeneidad de suelos, altitudes, orientaciones y condiciones climatológicas son la base sobre la que se asienta la riqueza biológica del Parque, en el que hay 1.404 especies de plantas, y unos 50 endemismos exclusivamente pirenaicos, encontrándose la mayor parte de estos últimos en hábitats rocosos como canchales y acantilados. En lo referente a la fauna, destaca la presencia del quebrantahuesos, el águila real, la chova piquigualda y el buitre leonado. En las aguas frías de ríos, arroyos e ibones de montaña vive el endémico tritón pirenaico y la rana pirenaica.

Entre los sistemas naturales recogidos por la Ley 30/2014, se encuentran los siguientes: matorrales supraforestales, pastizales de alta montaña, estepas leñosas de altura y cascajares; formaciones y relieves singulares de montaña y alta montaña; sistemas naturales singulares de origen glaciario y periglaciario; formas de relieve y elementos geológicos singulares del Macizo Ibérico y las cordilleras alpinas; sistemas naturales singulares de origen kárstico; pinares, sabinars y enebrales; cañones fluviales sobre relieves estructurales; abetales y pinsapares; robledales, hayedos y abedulares; encinares, carrascales, alcornocales y acebuchales; bosques mixtos atlánticos del piso colino o montano; quejigares y melojares; depósitos y formas con modelado singular de origen fluvial y eólico; cursos de agua y bosques de ribera; y humedales y lagunas de alta montaña.

En el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, según un estudio de "tipología de visitantes" realizado por la Unidad de Economía y Sociología Agrarias del Servicio de Investigación Agraria del Gobierno de Aragón, el visitante tipo durante los meses de máxima frecuentación (primavera-verano) es una persona casada, de entre 25 y 45 años, que realiza la visita sin menores de 18 años, asalariada y que está pasando un periodo vacacional en los Pirineos. Se aloja en un camping situado a menos de 50 Km del parque y se desplaza hasta el mismo en su propio vehículo. Su visita al Parque dura menos de 8 horas y la dedica a pasear o hacer montañismo.

El visitante está pasando entre 2 y 10 días de vacaciones, es la primera vez que visita el Parque o lo ha visitado una vez en el pasado. La visita ha estado a la altura de sus expectativas con una gran probabilidad de que le haya gustado más de lo esperado, aunque se ha encontrado con demasiada gente en las rutas clásicas del Parque.

Si agrupamos los lugares de procedencia por comunidades autónomas podemos concluir que el 82% de los visitantes provienen de 6 comunidades españolas (Cataluña 24%, Aragón 17%, Madrid 16%, Comunidad Valenciana 9%, País Vasco 7% y Navarra 3%) y Francia (6%). Es decir, comunidades autónomas limítrofes con Aragón, excepto Madrid.

Los accesos al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

En la actualidad la afluencia de visitantes al Parque oscila entre los 650.000 y los 700.000 anuales, con un máximo en el mes de agosto (alrededor de 170.000 visitantes) y un mínimo en enero (alrededor de 5.000 visitantes). Su distribución por valles o sectores es: Ordesa 52%, Añisclo 23%, Pineta 21 % y Escuaín 4%. La capacidad de acogida del sector Ordesa es de 1.800 visitantes

simultáneamente; la del sector Añisclo, de 650 visitantes; la del sector Escuaín, de 325 visitantes; y la del sector Pineta, de 900 visitantes.

Esta limitación comporta la regulación de las carreteras de acceso al Parque, así como la incentivación de sistemas de transporte de carácter colectivo al interior del Parque a partir de aparcamientos alternativos a los situados originalmente en el interior del Parque (Aparcamientos de *La Pradera* de Ordesa y *La Tella* en Añisclo). El emplazamiento de estos aparcamientos disuasorios, "piezas clave" de la regulación de la visita del Parque en el período estival, es: Torla, Vio y Vadiello (Puértolas).

El uso público del parque está sometido a importantes variaciones en cuanto a su visita. Nos encontramos con que el 50% de sus visitantes acuden a él en los meses del verano, período propicio para recorrer los senderos de montaña.

Así, en su gestión se han abordado temas tan importantes para su correcta conservación como la definición de la capacidad de acogida de cada uno de los sectores, la incidencia de las actividades de uso público y, sobre todo, la puesta en marcha de un sistema de acceso mediante transporte público colectivo en el valle de Ordesa mediante autobuses lanzadera que conectan el aparcamiento situado en el pueblo de Torla con Ordesa. Este sistema entraña la complejidad lógica de dar servicio a más de 120.000 personas entre Semana Santa y el período de julio a mediados de octubre; sin embargo, los beneficios son indudables para el valle de Ordesa, afectado durante año por la excesiva concentración de coches y personas.

Para tratar de paliar esta situación, existe un servicio de autobuses lanzadera al sector Ordesa desde la localidad de Torla. Su periodo de funcionamiento es en 2018: del 29 marzo al 1 de abril (Semana Santa), del 28 de abril al 1 de mayo, del 30 de junio al 16 de septiembre, y del 12 al 14 de octubre.

Los turismos, autocares, motos y bicicletas disponen de un aparcamiento situado en Torla, con capacidad para 386 turismos y 17 autocares. El servicio diario de ida, entre Torla y la Pradera de Ordesa, comienza a las 06:00 horas -excepto en octubre que empieza a las 07:00 horas-. Termina a las 19:00 horas en los meses de julio y agosto. En Semana Santa y octubre, el horario de subida es hasta las 18 horas. El servicio diario de vuelta entre la Pradera de Ordesa y Torla finaliza a las 22:00 horas durante los meses de julio y agosto. En Semana Santa y octubre el último retorno es a las 20:30 horas, y en septiembre a las 21.00 horas. Los intervalos de salida son cada 15 ó 20 minutos.

Como vimos, la capacidad del Parque en el sector de Ordesa, por motivos de preservación, es de 1.800 personas simultáneamente, una vez superada ésta se suspenderá el servicio hasta que descienda dicha cantidad con el retorno de visitantes.

Alternativamente se puede acceder al interior del valle de Ordesa a pie, por el antiguo camino de Torla a Ordesa durante todo el año, o en vehículo particular durante los períodos de no funcionamiento del servicio de autobús.

Objeto del estudio

En cuanto al presente estudio, se hace necesario contextualizarlo en el ámbito de la dirección de proyectos.

Este estudio enraíza en el área del conocimiento relativa al medio ambiente, la simulación de impactos y la investigación, desarrollo e innovación, con un mayor énfasis en la simulación y modelización de sistemas dinámicos.

Su relación con la dirección de proyectos ha de enfocarse a distintas escalas. Podemos ver la realización de este estudio como un proyecto en sí mismo, con un determinado alcance, sujeto a unos plazos y unas determinadas condiciones de calidad. Elevando la perspectiva, este estudio se enmarcaría en el proceso de control y gestión del parque, considerando al propio parque como un proyecto en fase de explotación. Y cambiando nuevamente de óptica, este estudio podría corresponder también con un proyecto para implantar mejoras en el sistema de gestión de accesos del parque.

Con este estudio se pretende aportar al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido un análisis aplicando la simulación y modelización de dinámica de sistemas a la gestión de los flujos de visitantes, monitorizando el impacto que el volumen de accesos al parque puede tener para la sostenibilidad medioambiental del mismo.

Además, habida cuenta que buena parte de los datos y material usado para este estudio provienen de los órganos de gestión de parque, esta es una buena manera de devolver una aportación a cambio a los gestores del parque.

En cuanto al propio ámbito académico del estudio de la dinámica de sistemas, este estudio va a permitir contrastar los modelos de sistemas dinámicos aplicados a la gestión de parques nacionales en estudios científicos precedentes, confirmando si se pueden extrapolar a este caso, qué modificaciones podrían ser necesarias, y analizando la validez de las conclusiones alcanzadas.

De esta manera, este estudio nace para dar respuesta a la siguiente hipótesis: *“La dinámica de sistemas aplicada a la sostenibilidad ambiental es útil para la gestión del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.”*

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

El estado del arte en dinámica de sistemas

En este capítulo se hace referencia, en términos de I+D, al estado último de la dinámica de sistemas aplicada a la sostenibilidad medioambiental de parques nacionales. Se repasan las últimas técnicas y los conocimientos más punteros relacionados con la temática de este estudio.

Como punto de partida, el trabajo de [González-Busto \(1998\)](#)⁷ es un excelente marco de referencia que nos presenta la dinámica de sistemas como una metodología de gran utilidad para el análisis de problemas complejos. Detalla las ventajas de adoptar una simulación de sistemas dinámicos frente a la experimentación sobre el sistema real, como por ejemplo en:

- Situaciones en las que no se puede experimentar sobre el sistema.
- Situaciones en las que no hay formulación matemática sobre el sistema objeto de análisis.
- Situaciones en las que el sistema evoluciona muy lentamente, y la simulación permite acelerar el horizonte temporal.
- Su bajo coste, puesto que únicamente se requiere invertir en la elaboración del modelo mientras que la adopción de cualquier medida en el sistema real implicaría la inversión de fuertes sumas.
- La eliminación del riesgo de adopción de políticas inadecuadas.

⁷ González-Busto, B., 1998, *La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

- La simulación mediante un modelo supone un ahorro de tiempo, puesto que, una vez elaborado el modelo, la simulación de una posible política o situación se efectúa en un momento.

También explica las fases de elaboración del modelo y la metodología para su validación, cuestiones que serán detalladas en con más profundidad en los capítulos 3 y 4 de este trabajo.

Por supuesto, la obra de [Forrester \(1992\)](#)⁸ y su contribución a la dinámica de sistemas es un referente común para todos los estudios sobre esta materia. Fue el pionero a la hora de enunciar las fases para construir un modelo, y comparar las metodologías de dinámica de sistemas, más analíticas, frente a las de estudio de casos mediante “system thinking” y “soft operations research”, que son más subjetivas y de aplicación más limitada.

Modelos de sistemas dinámicos aplicados a la sostenibilidad medioambiental

Uno de los ámbitos en los que se ha aplicado la modelización de sistemas dinámicos ha sido el de la sostenibilidad medioambiental. Han sido especialmente autores norteamericanos los que han desarrollado una serie de interesantes trabajos, aplicando la dinámica de sistemas a la gestión de espacios naturales protegidos y al control de los impactos ambientales que generan los miles de personas que los visitan anualmente.

Para ilustrar esta corriente de investigación, [Cole \(2005\)](#)⁹ hace una compilación de 12 estudios de caso estadounidenses sobre el uso de simulación de modelos por ordenador aplicados a la planificación y gestión de actividades en espacios naturales. En estos estudios de caso se simula el flujo de visitantes, ya sea a pie, en bicicleta, en vehículo o en embarcación, cómo y por dónde se desplazan, y qué actividades realizan.

Destaca la utilidad de las conclusiones obtenidas gracias a estos modelos, por ejemplo, para establecer indicadores de saturación de determinadas zonas (cuántas personas se cruzan en un camino, personas a la vez en un mismo punto, personas por área), qué medidas restrictivas se deberían implantar para regular los accesos, y predecir futuros patrones de comportamiento.

Para el presente estudio, la obra de [Nguyen \(2012\)](#)¹⁰ ha sido la principal referencia. Este autor parte de la premisa del desafío que supone la preservación de los parques nacionales para las generaciones venideras. Muchos de ellos en todo el mundo ya están experimentando la degradación de sus recursos naturales debido a la saturación de sus accesos y caminos.

En el “Glacier National Park” de Montana ha ocurrido lo mismo debido al aumento de visitas año tras año, desde su inauguración en 1932. En 2007 se llevó a cabo un proyecto de restauración de su principal vía de acceso, y se introdujo un sistema gratuito de autobuses lanzadera para disminuir la congestión de sus accesos, el cual ha recibido valoraciones positivas por parte de usuarios, gestores del parque e investigadores.

⁸ Forrester, J. W., 1992. *System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.

⁹ Cole, D., 2005. *Case Studies of Simulation Models of Recreation Use*. Washington: USDA Forest Service.

¹⁰ Nguyen, T., 2012. *System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana*. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012) Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>

A partir de aquí, se plantea el uso de la simulación de sistemas dinámicos para evaluar el efecto de esta decisión. Se construye el modelo sobre el esquema de ocupación típico de un día de julio en el parque. Así, el modelo permite revelar el comportamiento de los visitantes y explorar posibles medidas para mejorar la gestión de accesos e itinerarios. Se crean tres sub-modelos conectados entre sí: el sub-modelo de tráfico, el sub-modelo del autobús lanzadera, y el sub-modelo de itinerarios a pie. Los resultados ya permiten ver que, si bien la lanzadera reduce la congestión del tráfico, no acaba con la congestión de los aparcamientos. Esto es debido principalmente al gran número de vehículos que llegan a los aparcamientos, pero no consiguen encontrar plaza para aparcar. El autobús lanzadera permite aumentar entre un 18 y un 22% el número de senderistas que llegan al punto inicial en el centro de visitantes de Logan Pass.

En este contexto, el control y monitorización del proceso es esencial para la toma de decisiones. Sin embargo, obtener en tiempo real datos de calidad es costoso y lento si se han de tomar decisiones con agilidad. Es aquí donde esta simulación de modelos se convierte en una herramienta esencial para apoyar la toma de decisiones, interpretando posibles escenarios y tendencias, y ayudando comprender mejor las relaciones entre los factores que intervienen en el sistema.

Entre los modelos dinámicos a emplear podemos distinguir dos tipos:

- 1) Los que se centran en el comportamiento del visitante dentro del espacio natural, analizando medios de transporte, horarios de llegada, congestión de rutas, etc. Emplean escala diaria, usando como unidad de tiempo minutos u horas.
- 2) Los sistemas dinámicos propiamente dichos, [Forrester \(1961\)](#)¹¹. Los modelos se construyen con software como *Stella*, *Vensim* o *Powersim*, centrándose también en aspectos de gestión y socioeconómicos, contemplando los puntos de vista de todos los implicados y en una escala de tiempo mayor, generalmente en años. Este es el caso de esta simulación.

El objetivo pues de este modelo es proporcionar un ambiente de aprendizaje para los gestores del parque en el que probar potenciales políticas antes de considerar implementarlas.

En el trabajo de [Nguyen \(2012\)](#)¹² se realizan distintos test, incluyendo variaciones de la capacidad de los aparcamientos, del número de visitantes, del tiempo de visita y de la capacidad de los autobuses. El trabajo revela cómo el sistema de lanzadera descongestiona los accesos por carretera, pero aumenta los efectos sobre los senderos al ser capaz de llevar a ellos a más gente.

El propio trabajo hace una retrospectiva sobre el uso que se ha hecho hasta la fecha de las simulaciones por ordenador aplicadas a la gestión de parques.

¹¹ Forrester, J.W., 1961, *Industrial Dynamics*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.

¹² Nguyen, T., 2012. *System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana*. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012) Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>

En cuanto a modelos de sistemas dinámicos a largo plazo cita:

Software	Lugar	Autor, año	Tiempo
<i>Stella II</i>	Yucatán Península, Mexico	Kandelaars, 1997	20 años
<i>Vensim</i>	Basque Country, Spain	Bald et al., 2006	10 años
<i>Vensim</i>	Ranthambhore National Park, India	Dayal, 2007	100 años
<i>Vensim</i>	Jamaica	Ishutkina, 2009	70 años
<i>Vensim</i>	A typical island in Southern Europe	Xing and Dangerfield, 2010	720 meses

Y con respecto a los modelos a corto plazo destaca:

Modelo	Lugar	Autor, año	Unidad/Tiempo
Travel simulation model (Extend)	Yosemite National	Park Manning et al., 2005	Minutos / 1 día
Travel simulation model (Extend)	Arches National Park	Lawson et al., 2005	Minutos / 1 día temporada alta
<i>RBSim (Swarm & ArcView)</i>	Colorado River in Grand Canyon National Park	Gimblett, Daniel and Roberts, 2000	Minutos / 7 días

En el modelo de [Nguyen \(2012\)¹³](#) se ha recreado toda la compleja estructura de interacciones entre visitantes a pie y en vehículo, autobuses lanzadera e itinerarios a pie, comparando escenarios con distintas modalidades y capacidades del sistema de lanzaderas. El horizonte temporal es de 12 horas, y para el número de visitantes se tienen en cuenta el máximo anual de 2 millones.

Esto supone una importante novedad que conviene destacar, ya que es el primer estudio que emplea *Vensim* para analizar un modelo intradía, a diferencia de trabajos precedentes que lo empleaban para horizontes temporales de varios años. Esta opción es la misma que se va adoptar en el presente estudio.

¹³ Nguyen, T., 2012. *System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012)* Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>

En cuanto a los resultados, se obtiene, como era de esperar, que las personas que utilizan el coche generan un mayor impacto que las que usan las lanzaderas. Se debaten entonces distintas opciones de control, desde dejar que la propia capacidad de los parkings sea el factor limitante, hasta aumentar el número de visitantes recibidos, pero controlando el acceso a determinados itinerarios a pie. El modelo no da una solución ideal, pero sí permite ver las consecuencias de adoptar unas decisiones u otras, para determinar qué balance entre unas alternativas u otras sería el deseable.

Otras interesantes conclusiones que se extraen son la necesidad de mantener en buenas condiciones de conservación las carreteras, para permitir que las lanzaderas funcionen correctamente, o mejorar la capacidad del centro de visitantes, ya que eso haría que pasen más tiempo en él los visitantes y menos en las rutas a pie, reduciéndose la erosión. También se podría optar por poner más y mayores miradores y realizar rutas guiadas para atenuar y reducir estos impactos en los senderos.

Finalmente, este trabajo se complementa con la implantación de un sistema de reservas en base a las salidas obtenidas del sistema, y con una verificación y contraste de los resultados mediante trabajo de campo.

Posteriormente, el propio Nguyen con [Ford et al., \(2012\)](#),¹⁴ revisó cómo se estaba implementado el modelo simulado para el Glacier National Park, y cómo estaba sirviendo para el desarrollo de la gestión de las visitas a largo plazo.

En el Parque Nacional de Yosemite encontramos los trabajos de [White et al., \(2012\)](#)¹⁵, y de [Manning \(2012\)](#)¹⁶. El primero de ellos simula un modelo sobre la capacidad de visitantes y transporte del parque. Se tienen en cuenta parámetros de calidad como la duración de los trayectos, la saturación de los itinerarios, y el número de vehículos con los que se cruza un visitante. Dado que los últimos patrones de visitas están fuera del límite de aceptabilidad, será necesario utilizar el modelo para probar en distintos escenarios las posibles alternativas que por parte de los gestores del parque se deberían llevar a cabo. En el segundo caso se estudia la capacidad de carga del parque. Se integran indicadores de calidad percibidos por los usuarios del parque durante su visita, número de usuarios por cada zona, y una simulación del modelo para determinar los valores máximos de capacidad de carga diaria que respetasen los estándares mínimos de calidad. Para esta capacidad de carga se establecen distintos niveles: preferible, aceptable, que requiere una acción de los gestores, y umbral máximo.

Otro caso interesante es el del Parque Nacional del Gran Cañón y las embarcaciones que lo recorren descendiendo el río Colorado. Así tenemos a [Gimblett et al., \(2000\)](#)¹⁷, con un estudio sobre un modelo de simulación para el uso de río Colorado por parte de los visitantes y empresas turísticas. El modelo permite simular la programación anual de visitantes, reservas, tamaño y

¹⁴ Ford, A., Nguyen, T., Beall, A., 2012. *Modeling Support for National Park Planning: Initial Results from Glacier National Park*. Pullman: Washington State University.

¹⁵ White, D. D., Tschuor, S., Byrne, B., 2012. *Assessing and Modeling Visitors' Evaluations of Park Road Conditions in Yosemite National Park*. Hancock: The George Wright Forum.

¹⁶ Manning, R. 2002. *Estimating day use social carrying capacity in Yosemite national park*. *Leisure/Loisir* 27, 77-102.

¹⁷ Gimblett, R., Roberts, C. A., Daniel, T. C., Ratliff, M., Meitner, M. J., Cherry, S., Stallman, D., Bogle, R., Allred, R., Kilbourne, D., Bieri, J., 2000. *An Intelligent Agent Based Model for Simulating and Evaluating River Trip Scenarios Along the Colorado River in Grand Canyon National Park*. En R. Gimblett (Ed.), *Integrating GIS and Agent based modeling techniques for Understanding Social and Ecological Processes* (págs. 245-275). Santa Fe: Oxford University Press.

capacidad de cada embarcación, etc., permitiendo visualizar los resultados de forma gráfica en un Sistema de Información Geográfica que, mediante colores, identifica las zonas donde se va a producir saturación y cuándo ocurrirá. Esto permite programar mejor las salidas de las embarcaciones, planificar estrategias y medidas adoptar antes del comienzo de la temporada.

Otro trabajo similar sería el de [Roberts y Bieri \(2001\)](#)¹⁸, en el que analizan cómo afecta el caudal del río Colorado al uso turístico del parque por parte de los visitantes que lo recorren en embarcaciones: tiempo en el agua y fuera del agua, ubicación de los campamentos, paradas realizadas, etc. En la época de caudal bajo, los turistas llegan a pasar un 50% menos de tiempo en las actividades fuera del río.

Modelos sobre espacios naturales en España

Los espacios naturales españoles no han quedado al margen de estas tendencias en investigación de modelos sobre sistemas dinámicos. El interés de realizar estas simulaciones sobre nuestros espacios naturales es algo que ya identificaron [Bonache et al., \(2015\)](#)¹⁹, al señalar la Red de Parques Nacionales como “un escenario muy adecuado para la investigación y el seguimiento a largo plazo”. En su artículo explicaron las distintas iniciativas de seguimiento en marcha, con ejemplos de resultados en cada una de ellas. También desarrollaron el Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales, que cuenta con programas de seguimiento ecológico, sociológico y funcional. En ellos, se tiene en cuenta el factor “visitantes” en los *Estudios de percepción social de la Red de Parques Nacionales* y en los *Estudios de tendencias de los datos de socioeconomía básica en los municipios de las áreas de influencia socioeconómica de la Red de Parques Nacionales*.

Del mismo modo, [Pulido \(2003\)](#)²⁰ realizó un interesante estudio, desde el ámbito de las ciencias sociales, sobre los espacios naturales protegidos como “agentes dinámicos” y los modelos de gestión turística sostenible. En él, primeramente menciona como deficiencia que había en ese momento la “enorme dificultad para conocer con un cierto grado de fiabilidad el volumen de demanda que reciben estos espacios”. En segundo lugar, trata el grado de exactitud de las estimaciones de afluencia de visitantes, “que está creciendo en los últimos años muy por encima de la capacidad de respuesta que está demostrando la oferta para garantizar una gestión turística adecuada a las características de la demanda y de los propios espacios en los que se desarrolla”. Dentro del modelo de gestión turística sostenible señala la necesidad de “nuevas herramientas” y de “mejorar la información para la toma de decisiones”, considerando que “el conocimiento científico es una herramienta eficaz para la gestión del uso turístico”. En su definición de una “política eficiente de gestión de flujos turísticos” vemos aspectos muy interesantes y que coinciden con el objeto de estudio de este trabajo: flujos de acceso, segmentos de demanda, distribución de los flujos en el tiempo y en el espacio, capacidad de acogida, ... Indica que los

¹⁸ Roberts, C. A., Bieri, J. A., 2001. *Impacts of Low flow Rates on Recreational Rafting Traffic on the Colorado River in Grand Canyon National Park*. Arizona: Grand Canyon Monitoring and Research Center.

¹⁹ Bonache, J., De Mingo-Sancho, G., Serrada, J., Amengual, P., Perales, J., Martínez, R., Rodado, S., Albornos, E., 2015. *El seguimiento y la evaluación a largo plazo en la Red española de Parques Nacionales*: Revista Ecosistemas 25, 31-48.

²⁰ Pulido, J. I., 2003. *Hacia un modelo de gestión turística sostenible de los espacios naturales protegidos. Su aplicación al caso andaluz*. Jaén: XII Simposio Internacional de Turismo y Ocio

esfuerzos han de orientarse a canalizar a los visitantes hacia los parajes menos sensibles, promover transporte públicos o medios de transporte no contaminantes.

Esta compleja relación entre desarrollo turístico y preservación de los espacios naturales, en la que el número de visitantes y la capacidad de carga de los espacios son factores críticos, ha sido objeto también de la proposición de distintos tipos de iniciativas por parte de colectivos vinculados a la defensa y protección del medio ambiente²¹. Se establece como objetivo lograr una actividad turística sostenible medioambientalmente, abandonando los modelos del turismo de masas. Se propone como medida “crear planes específicos para la regulación y minimización del impacto de cualquier tipo de turismo en todos los espacios protegidos (Parques Nacionales, Parques Naturales, Red Natura 2000, etc.), así como para el fomento del turismo de calidad y bajo impacto en su entorno”. Y como indicador, se establece el “número de espacios protegidos con planes para la gestión de la demanda turística”.

En esta misma línea podemos ubicar a [Hijano \(2017\)](#)²². En su artículo sobre el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, declarado en el año 2013, aborda el grado de masificación que ha sufrido en tan poco tiempo, y cómo esto afecta a la calidad de la flora, fauna, aire y aguas. En el artículo se explican los resultados de una encuesta realizada por Montature (Centro de Difusión del Patrimonio Natural y Cultural de Montaña) sobre la necesidad de conectar mediante transporte colectivo el Puerto de los Cotos con la localidad de Rascafría. Los resultados fueron muy reveladores. El 100% de los encuestados dieron una respuesta afirmativa. Pero lo más concluyente fueron las razones sobre su utilización. La mayoría, un 36%, alegaba “problemas de estacionamiento”. Un 29%, “motivos de conservación del medioambiente”, lo que demuestra cierto grado de concienciación de la población por minimizar sus impactos. Otro 28%, por “logística de una actividad montañera”. Como conclusión se propone la implantación de un sistema de transporte colectivo para los accesos al parque de carácter público (25%) – privado (75%) y que se fomente verdaderamente este medio, en lugar del vehículo, no sólo cuando los parking estén llenos, sino como forma principal de acceso al entorno protegido.

También sobre el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, [Vielva \(2017\)](#)²³ desarrolla el sistema de aforadores automáticos que emplean para el conteo de vehículos, peatones y bicicletas. Además, han implementado el conteo por telefonía móvil, que permite conocer los flujos de entradas y salidas, rutas utilizadas por los visitantes y zonas de concentración en el interior del parque. Todo esto, complementado con encuestas y muestreos en los aparcamientos para determinar la ocupación media de los vehículos, lo emplean para alimentar su modelo y extrapolar resultados útiles para la gestión del parque.

En cuanto a las Islas Canarias, pueden destacarse dos trabajos. En el primero de ellos, [Hernández \(2017\)](#)²⁴ explica el sistema de aforadores que tienen en el Parque Nacional del Teide, desde 1996, para contabilizar vehículos y personas que acceden al parque. Hace un estudio cuantitativo de la

²¹ *Ecologistas en Acción, Greenpeace, SEO/BirdLife, WWF/Adena, 2002. 225 medidas para el Desarrollo Sostenible. Alternativas a la Estrategia Española de Desarrollo. Madrid.*

²² *Hijano, N., 2017. Movilidad sostenible en los espacios naturales protegidos: participación del sector privado en la gestión. Rascafría: Montnature. Centro de Difusión del Patrimonio Natural y Cultural de Montaña.*

²³ *Vielva, J. A., 2017. La movilidad en el interior de los espacios protegidos. Centro de investigación seguimiento y evaluación del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Tenerife: Universidad de la Laguna, Jornadas sobre la movilidad en los Parques Nacionales*

²⁴ *Hernández, J. C., 2017. Parque Nacional del Teide. Visita actual y retos de futuro. Tenerife: Universidad de la Laguna, Jornadas sobre la movilidad en los Parques Nacionales.*

evolución del número de visitantes en los últimos años. En una encuesta que realizaron en el año 2016 a los usuarios, se refleja la demanda de más aparcamientos y menores accesos, así como la precepción de saturación en temporada alta. Como datos obtenidos que servirán de referencia a modo orientativo en nuestro estudio:

- Ocupación media de vehículos: 2,94 personas
- Ocupación media de autobuses: 38,59 personas
- Máxima capacidad de carga mensual: 520.000 visitantes
- Tiempo medio de la visita: 105 minutos
- Período de máxima afluencia: entre las 11 y las 13 horas.

El segundo de los trabajos insulares es el de [Um y Momo \(2010\)](#)²⁵, en el que desarrollan con *Vensim* modelos dinámicos de sistemas sostenibles de turismo. Se contraponen los comportamientos del turismo de masas y el turismo ecológico, para posteriormente ver la velocidad de degradación del ecosistema y por cuánto tiempo será sostenible. Como resultado se observa que la sostenibilidad del ecosistema sólo se cumple cuando hay un mayor grado de turismo ecológico.

Finalmente, resaltar el estudio de [Abellán y Del Cerro \(2000\)](#)²⁶, que bien podría servir como salida a la que “conectar” los valores de los resultados de nuestro sistema, y de esta manera evaluar el impacto ambiental generado por el volumen de visitantes del parque. Los autores proponen un modelo para predecir y estimar de forma cualitativa los impactos ambientales que los visitantes de un área recreativa provocan, dependiendo del tipo de actividades que realizan y de las características del paraje. De esta manera se obtendría una herramienta para gestionar el turismo y planificar el uso de las áreas recreativas sin alterar de forma irreversible los recursos naturales. El método empleado consiste en identificar los impactos, clasificarlos, caracterizarlos, valorarlos, y finalmente obtener de cada uno su “índice de impacto potencial”. En cuanto a las conclusiones que alcanzan, queda claro que el impacto causado por los visitantes depende del número de personas, tipo de actividad que realizan y la vulnerabilidad del medio, siendo las que mayor impacto causan el picnic libre, el baño y el paseo fuera de los senderos. La distribución de los impactos está muy relacionada con la distribución en el tiempo y en el espacio de los visitantes, y con sus comportamientos. Por ello, proponen influir sobre el “tipo de usuario”, atrayendo otros perfiles, mejorando los programas de educación ambiental, e incluso restringiendo los accesos a determinadas zonas.

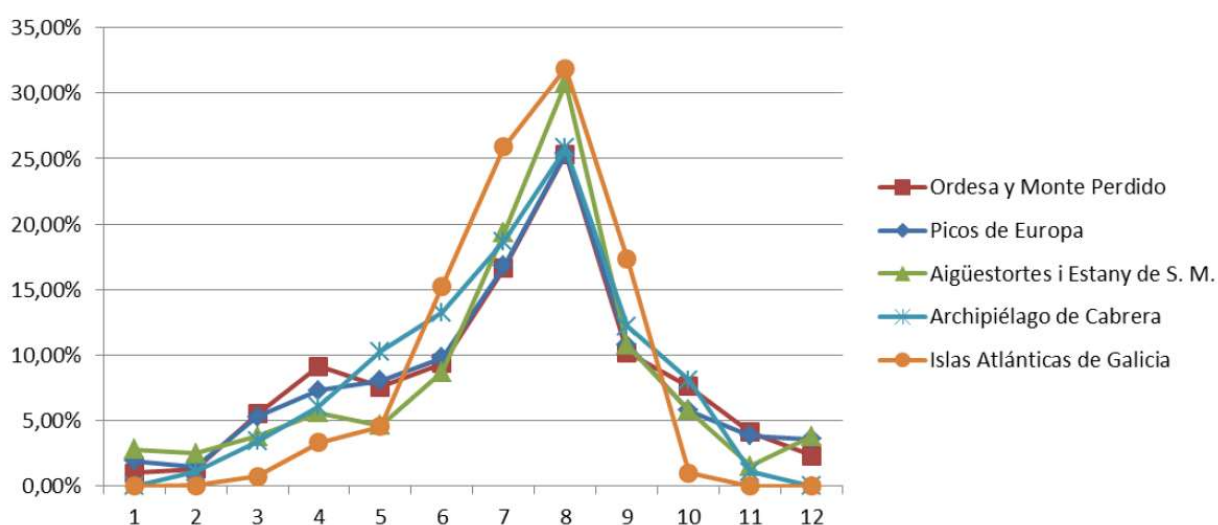
Estudios sobre el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

Al poner el foco sobre el objeto del presente estudio, en primer lugar hemos de acudir a la documentación de los órganos públicos responsables de la gestión del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

²⁵ Um, E., Momo, F., 2010. Modelo de simulación del turismo ecológico en la isla de Gran Canaria basado en un modelo de simulación con *Vensim*. Boletín de Dinámica de Sistemas. Obtenido de <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/1210c.htm>

²⁶ Abellán, M., Del Cerro, A., 2000. Propuesta de un modelo para identificar impactos ambientales del turismo en espacios naturales. Cuadernos de Turismo 5, 7-17.

Así vemos que, a través del [Organismo Autónomo de Parques Nacionales \(2015\)](#)²⁷, los datos de afluencia a la Red de Parques Nacionales ponen de manifiesto el interés social que despiertan los parques nacionales. En 2015 se alcanzó el máximo histórico, con más de 14,4 millones de visitantes. En el estudio del número de visitantes de cada parque se puede apreciar que el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido tiene una estacionalidad marcada, principalmente debido al frío reinante durante los meses de invierno. Además, se detalla como medida correctora realizada la restauración y rehabilitación de las zonas degradadas por la afluencia de visitantes, a lo largo de las sendas y caminos del Parque Nacional, asegurando así su mantenimiento en buen estado.



*Fig. 2.1.- Número de visitantes mensuales de los parques "Tipo I: estacionalidad marcada" en 2015*²⁸

En cuanto a la propia normativa del parque, su [Plan Rector de Uso y Gestión \(2015\)](#)²⁹ establece que, durante la vigencia del PRUG, se limitará el número de visitantes y el tipo de acceso de acuerdo con la capacidad de visita o acogida y las características propias de cada sector del Parque Nacional. El número máximo de visitantes que simultáneamente podrán permanecer en cada sector del Parque Nacional se indica a continuación, pudiendo ser estas cifras revisadas durante la vigencia del PRUG por acuerdo de la Junta Rectora y en función los resultados del seguimiento continuo de esta regulación. La capacidad de acogida del Sector Ordesa será de 1.800 visitantes simultáneamente; la del Sector Añisclo, de 650 visitantes; la del sector Escuaín, de 325 visitantes; y la del sector Pineta, de 900 visitantes. Este PRUG tiene como Directriz Específica nº 4 el implantar modelos de calidad para la visita, a través de acciones como "limitar el número de visitantes de acuerdo con la capacidad de acogida de cada sector del Parque Nacional".

²⁷ Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 2015. *Memoria de la Red de Parques Nacionales*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

²⁸ Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 2015. *Memoria de la Red de Parques Nacionales*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

²⁹ Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, 2015. *Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su Zona Periférica de Protección*. Zaragoza: Gobierno de Aragón.

De los estudios científicos sobre el parque considero de interés el de [Ciscar \(1995\)³⁰](#), que si bien se trata de un estudio desde el punto de vista meramente económico, sus resultados y conclusiones se pueden integrar con el modelo simulado en este estudio. En una primera parte analiza cómo influye en la demanda de visitantes que quieran venir al parque el precio de la entrada, su nivel de renta, y el coste del desplazamiento, en función de cuántos compartan el vehículo o si el medio de transporte es público. En nuestro modelo esto sería relevante afectando a las entradas del sistema. Después pasa a analizar cómo emplear los beneficios obtenidos por las visitas. Cuanto más se reinvierta en conservar y mantener el parque, más durará en el tiempo y se podrá seguir visitando en el futuro. De no hacerlo, se iría degradando paulatinamente, lo que atraería a menos visitantes, generándose menos ingresos, y haciendo la gestión del parque nada rentable. Con las salidas de nuestro sistema, se podrían cuantificar los impactos generados, cuánto costaría corregirlos y reenviar este dato para calcular el precio de las entradas.

Por último, hacer referencia a los trabajos de [Marquina \(1997\)³¹](#), [\(2003\)³²](#), [\(2011\)³³](#), [\(2017\)³⁴](#), ya que en ellos se explica la problemática particular del parque en cuanto a sus accesos y la gestión del flujo de visitantes, así como las medidas que se han adoptado para regularlo, como por ejemplo el sistema de autobuses lanzadera. Los datos que ofrece este autor, serán la base para estructurar y desarrollar el modelo del presente estudio, como se detallará en los posteriores capítulos.

³⁰ Ciscar, J. C., 1995. *Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Análisis Coste-Beneficio*. Madrid: Ministerio de Economía y Hacienda.

³¹ Marquina, L., 1997. *Uso público en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Algunas reflexiones sobre su gestión*. Segovia: Centro Nacional de Educación Ambiental.

³² Marquina, L., 2003. *La gestión en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*, Revista Ambianta, suplemento Parques Nacionales, julio-agosto 2003, 7-12.

³³ Rada, B., Marquina, L., Viñuales, E., 2011. *Guía de Visita. Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

³⁴ Marquina, L., 2017. *La regulación de accesos en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido Autobuses lanzadera en el valle de Ordesa*. Huesca: Equipo de Uso Público del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Origen de los datos

Para este estudio, los datos se han obtenido de fuentes institucionales. En concreto, del Instituto Aragonés de Estadística³⁵, y de los agentes gubernamentales encargados de la administración y gestión del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido: el Organismo Autónomo de Parques Nacionales, dependiente del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación – Ministerio para la Transición Ecológica, y el Equipo de Uso Público del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

Entre los datos obtenidos tenemos los siguientes (ver ANEXO I-Tablas estadísticas):

- Número de visitantes por año a los Parques Nacionales en España. Años 1989-2015.
- Porcentaje de Visitantes en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido sobre el total de Parques nacionales. Años 1989-2015.
- Estimación de las visitas mensuales a los cuatro sectores (Ordesa, Pineta, Añisclo, Escuaín) del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Años 2013-2017.
- Conteo de personas por hora que acceden al parque, realizado el 4 de agosto de 1994.

³⁵ Número de visitantes a los Parques Nacionales. Años 1989-2015. (n.d.). Obtenido el 10 de julio de 2018, del Instituto Aragonés de Estadística:

http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia/ci.09_Naturaleza_biodiversidad.detalleDepartamento?channelSelected=0

- Número de autobuses lanzadera empleados cada día del mes de agosto de 2009.
- Capacidad de cada autobús (entre 50 y 60 pasajeros).
- Número de visitantes diarios, entre los años 2005 y 2015, desde el mes de junio al mes de noviembre.

De la normativa que regula el uso del parque³⁶, se ha obtenido:

- Capacidad de acogida diaria de cada sector, en número de visitantes, y en vehículos en el caso del aparcamiento de Torla.

Además de los datos estadísticos, de la bibliografía empleada se ha obtenido:

- Número de infraestructuras de que dispone el parque (centros de visitantes, centros de información, aparcamientos, miradores)³⁷.

Análisis de la validez de los datos

Los datos provienen de fuentes que tienen acceso directo a la información del parque. Estos datos los han obtenido mediante la observación directa, sus propios informes y estudios, encuestas a visitantes, y más recientemente, mediante dispositivos aforadores para el conteo de personas y vehículos que acceden al parque. Por ello, se consideran válidos y objetivos, libres de cualquier tipo de sesgo, quedando así garantizada su aptitud para este estudio.

Se descarta la posibilidad de que estas estadísticas contengan datos erróneos. Aun teniéndolos, tampoco influirían en el estudio ya que en el modelo se va a poder cambiar a discreción el valor de las variables para ver cómo esto afecta al resultado de la simulación.

La mayor parte de ellos comprende periodos de tiempo amplios: años, meses y días. De hecho, sólo uno de ellos nos da una visión intradía de cómo evoluciona el flujo de visitantes.

Las variables principales que se utilizan son:

- Variable independiente “*Tiempo*”, medida en años, meses, días u horas: t
- Variable dependiente “*Visitantes*”: $v(t)$

Estas variables se expresan en formato de números naturales.

Dado que este estudio pretende usar como referencia principal el modelo intradía de [Nguyen \(2012\)](#)³⁸, esto a priori podría parecer un hándicap, sin embargo, la ausencia de más datos de visitantes según la hora del día no afecta realmente al modelo, ya que con el único dato que tenemos se creará el modelo base, y sobre él, se irán haciendo variaciones de escenarios, alterando a nuestra voluntad cómo podría cambiar el patrón de acceso al parque, y qué repercusiones tendría esto en otras variables.

³⁶ Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, 2015. *Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su Zona Periférica de Protección*. Zaragoza: Gobierno de Aragón.

³⁷ Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 2015. *Tercer Informe de situación de la Red de Parques Nacionales (2011-2013)*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

³⁸ Nguyen, T., 2012. *System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana*. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012) Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>

La ausencia de más datos sobre el flujo de visitantes y vehículos intradía puede ser fácilmente suplida a partir del dato conocido de 1994. De él sabemos el porcentaje sobre el total que llega cada hora, y bastará con aplicar ese porcentaje sobre la variable “*Número de visitantes diarios*”.

Otras variables que se emplearán serán el tamaño de los autobuses, la tasa de ocupación de los vehículos turísticos y de los autobuses, el porcentaje de personas que optan por un medio de transporte u otro, el tamaño de los aparcamientos y la capacidad de carga del espacio natural. En todas ellas, se partirá de los datos iniciales conocidos, para luego ir variando sus valores y ver su efecto en la simulación.

A la hora de experimentar con el modelo y generar nuevos escenarios, se tienen en cuenta también como datos representativos los correspondientes al Parque Nacional del Teide³⁹, ya que se considera que los patrones de comportamiento de los visitantes a dicho parque y al de Ordesa y Monte Perdido, guardan ciertas similitudes: tipo de parque (montañoso), estacionalidad, restricciones, duración aproximada de la visita, cantidad mensual de visitantes, horario de máxima afluencia, etc.

Por todo lo expresado anteriormente, se puede concluir que los datos seleccionados son válidos para realizar el estudio en concreto.

Métodos

Por métodos debemos entender tanto las metodologías a aplicar como los algoritmos o programas informáticos que se van a emplear.

Como vimos en el capítulo 2 “Estado del Arte”, en este estudio vamos a considerar el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su sistema de acceso, gestión y transporte de visitantes como un sistema dinámico.

Este enfoque ya ha sido avalado por numerosos artículos científicos en los que se emplea como metodología la dinámica de sistemas para simular un modelo sobre un entorno natural en concreto. Esto nos indica que los materiales y los métodos elegidos son los adecuados para lograr resultados científicamente admisibles en el caso que nos ocupa.

Dinámica de sistemas

Un sistema dinámico es un sistema complejo que evoluciona y, por tanto, su estado evoluciona, en función del tiempo.

El comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones.

La Dinámica de Sistemas como tal fue inicialmente desarrollada por el Dr. Jay W. Forrester, profesor de la Sloan School of Management del MIT, a principios de los años 60, cuando desarrolló un método para analizar y entender el comportamiento dinámico de sistemas complejos⁴⁰. Esta metodología ha ido creciendo en importancia a lo largo de las últimas décadas, con innumerables aplicaciones en la vida real.

³⁹ Hernández, J. C., 2017. *Parque Nacional del Teide. Visita actual y retos de futuro*. Tenerife: Universidad de la Laguna, *Jornadas sobre la movilidad en los Parques Nacionales*.

⁴⁰ Forrester, J.W., 1961, *Industrial Dynamics*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.

Las ventajas de la metodología de dinámica de sistemas pueden resumirse en tres puntos:

- *Flexibilidad:* puede aplicarse a una amplia variedad de campos y disciplinas. Permite el uso de variables y datos tanto cuantitativos como cualitativos. Es posible plantear varios sub-modelos dentro del sistema o modelo general y asociarlos de modo que funcionen en conjunto. Esto da como resultado modelos escalables y maleables
- *Transparencia y accesibilidad:* en la actualidad existe una gran variedad de software de fácil acceso, algunos de ellos con versiones gratuitas sobre dinámica de sistemas. Estos programas presentan interfaces intuitivas que reducen de forma considerable la cantidad de conocimientos de programación necesarios para utilizarlos.
- *Utilidad predictiva y de participación:* las simulaciones permiten la prueba continuada de funcionamientos hipotéticos del sistema y de nuevos escenarios sin muchas dificultades, siempre y cuando las variables pueden ser identificadas y se puedan establecer sus relaciones.

Existen métodos disponibles para la participación de actores durante las distintas fases del proceso de modelado y varias formas para presentar la información sobre el funcionamiento interno del modelo.

El modelo de un sistema dinámico

Un modelo es una representación de algún equipo o sistema real. El valor de un modelo surge cuando éste mejora nuestra comprensión de las características del comportamiento en forma más efectiva que si se observará el sistema real.

Un modelo, comparado con el sistema verdadero que representa, puede proporcionar información a un coste más bajo y permitir el logro de un conocimiento más rápido de las condiciones que no se observan en la vida real.

Los modelos dinámicos son una representación de la conducta dinámica de un sistema, Mientras un modelo estático involucra la aplicación de una sola ecuación, los modelos dinámicos, por otro lado, son reiterativos. Los modelos dinámicos constantemente aplican sus ecuaciones considerando cambios de tiempo.

Los diagramas causales

Los diagramas de causales muestran el comportamiento del sistema, y permiten conocer la estructura de un sistema dinámico, dadas las variables y las relaciones entre ellas.



A tiene influencia en B, aunque se desconoce el tipo de influencia



Si A aumenta, B también aumenta, y viceversa


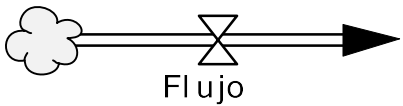


Si A aumenta, B disminuye, y viceversa

Los diagramas de Forrester

Los diagramas de Forrester son la representación gráfica del sistema. Gracias a ellos, es posible representar un modelo de una forma mucho más intuitiva que si se debiera reflejar mediante un sistema de ecuaciones diferenciales que lo representaría matemáticamente y que sería mucho más complejo de elaborar.

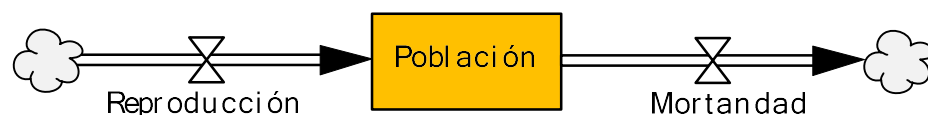
Los elementos básicos de un diagrama de Forrester son los siguientes:

<p>"Niveles"</p> <p>Son aquellos elementos que presentan una acumulación y varían sólo en función de otros elementos denominados "flujos". Los niveles se representan como un rectángulo.</p> <p>Por ejemplo, en un modelo de la población de una determinada especie animal, la cantidad de animales de esa especie estaría representado por un "nivel", ya que es una variable que va a crecer o decrecer.</p> <p>Matemáticamente, el "nivel" de una variable X, se corresponde con una expresión diferencial (dx/dt)</p>	
<p>"Flujos"</p> <p>Determinan las variaciones de los niveles. Las "nubes" dentro del diagrama de flujos representan niveles de contenido inagotable.</p> <p>En el ejemplo anterior, la población de esa especie estaría controlada por dos flujos, el flujo de entrada (nacimientos de animales de esa especie) y el flujo de salida (mortalidad de animales de esa especie). La diferencia entre ambos marcará el nivel de población de esa especie.</p>	

"Variables auxiliares" Son parámetros que permiten una visualización mejor de los aspectos que condicionan el comportamiento de los flujos.	Variable
"Retardos" Simulan los retrasos de tiempo en la transmisión de los materiales o las informaciones. En los sistemas socioeconómicos es frecuente la existencia de retardos en la transmisión de la información y de los materiales, y tienen una gran importancia en el comportamiento del sistema.	

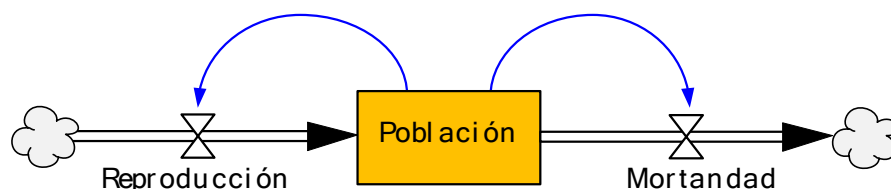
Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados "canales materiales". Por otra parte, existen los llamados "canales de información", que transmiten, como su nombre indica, informaciones que por su naturaleza no se conservan.

Para continuar con el ejemplo de la población de una especie animal, se podría representar su "nivel" de la siguiente manera:

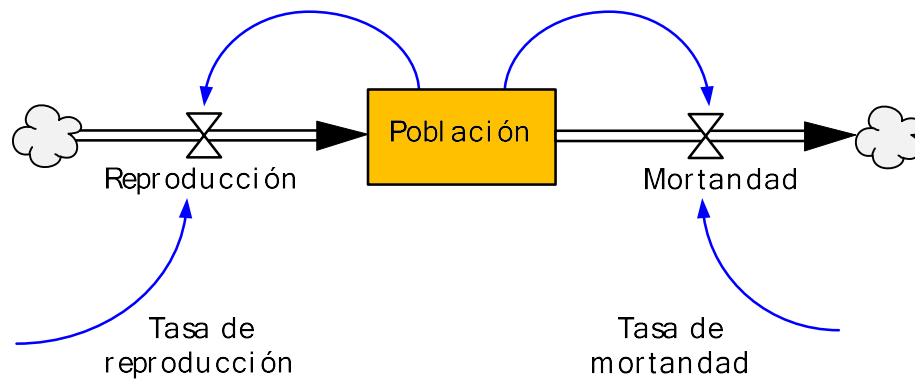


Es decir, el nivel de población está determinado por los flujos de nacimientos, que aumentan ese nivel, y el flujo de muertes, que los disminuye.

Pero habrá que indicar al modelo cómo calcular esos flujos. Es evidente que esos flujos van a ser proporcionales al nivel de población: cuanta más población más nacimientos y más muertes. Por ello se relaciona el nivel con los flujos mediante las dos flechas que se muestran en la figura. De esa forma se está indicando que la variable "Población" es necesaria para calcular las variables "Reproducción" y "Mortandad".



Pero aún no basta, es necesario indicar al modelo la constante de proporcionalidad de la variable "Población" con las variables "Reproducción" y "Mortandad". Para ello deben crear dos nuevas variables/constantes, y enlazarlas con sus respectivos flujos:



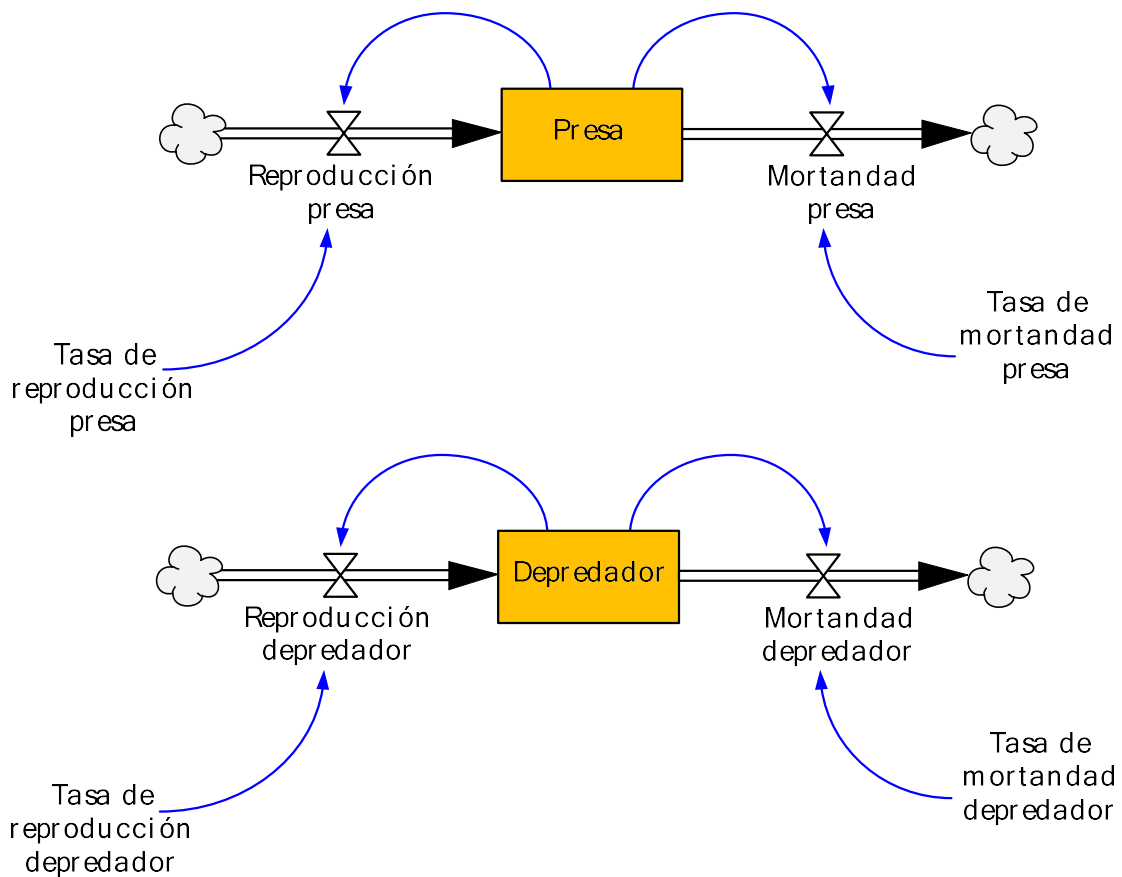
Ahora queda reflejado que el flujo “*Reproducción*” se calculará con la variable “*Población*” y otra variable o constante denominada “*Tasa de reproducción*”. La relación matemática concreta existente entre ambas variables se establecerá posteriormente.

De esta forma, el modelo representado es un modelo muy sencillo de población que, si bien su diagrama es simple, la ecuación diferencial que se corresponde con este diagrama es la siguiente:

$$\frac{dP(t)}{dt} = P(t) \cdot T_F - P(t) \cdot T_M$$

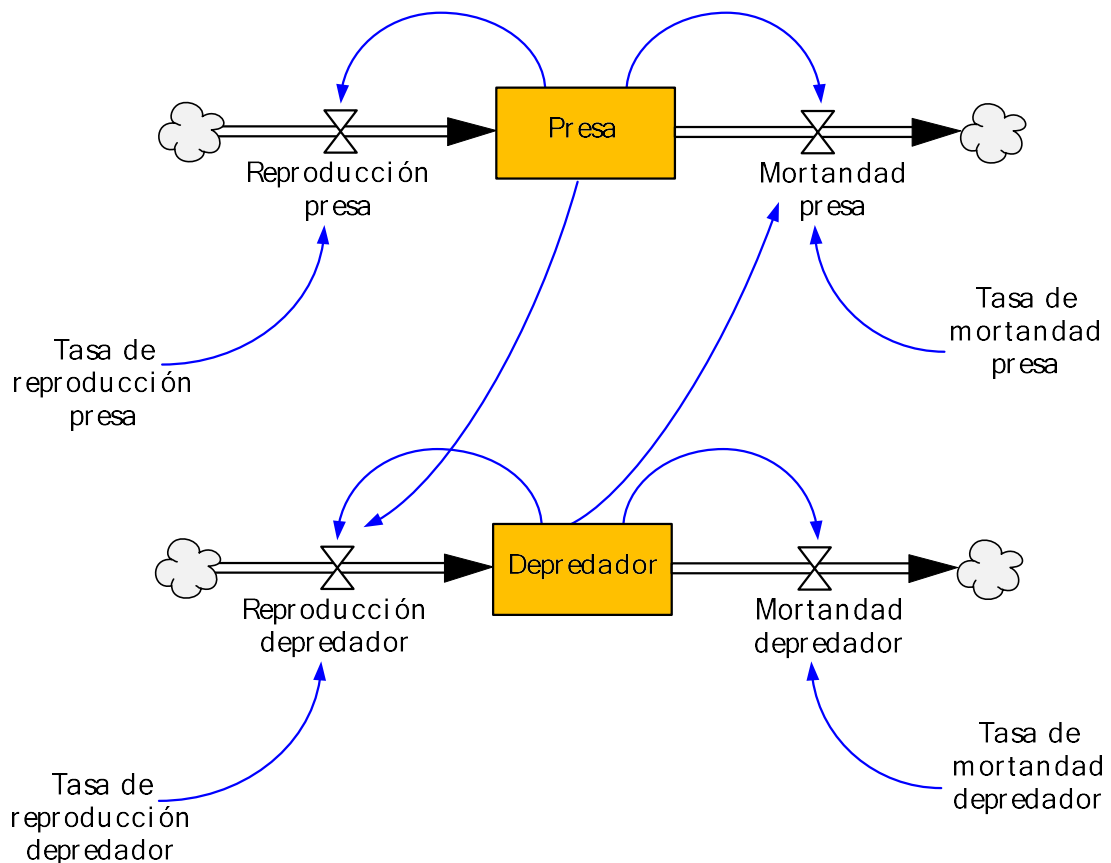
Donde $P(t)$ es la variable que representa a la población, T_F y T_M son, respectivamente, las tasas de fertilidad y mortandad, y el nivel “*Población*” a lo largo del tiempo, es igual a la diferencia entre lo que entra y lo que sale.

Es posible complicar algo más el modelo suponiendo que existe un depredador que se alimente de esta especie. En este caso, la especie depredadora sería representada de igual forma que la especie presa.



Pero ahora se deberán establecer relaciones de depredador-presa entre ellos. Puede afirmarse que el flujo de nacimientos de depredadores estará influido por el nivel de población de la presa (a mayor cantidad de alimento, mayores posibilidades de que se reproduzcan los depredadores, e igualmente puede afirmarse que el flujo de mortandad de la especie presa será mayor cuando mayor sea la población de depredadores).

Por todo ello, el cálculo de la variable “*Reproducción depredador*” deberá ser calculado teniendo en cuenta además de la cantidad de depredadores (nivel “*Depredador*”) y la “*Tasa de reproducción depredador*”, la cantidad de presas existentes (nivel “*Presa*”). De la misma forma, la variable “*Mortandad presa*”, deberá ser calculada teniendo en cuenta tanto la población de “*Presa*” y la “*Tasa de Mortandad presa*”, como cuántos depredadores hay (nivel “*Depredador*”).



Este esquema responde al siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dP(t)}{dt} = P(t) \cdot T_{FP} - P(t) \cdot D(t) \cdot T_{MP}$$

$$\frac{dD(t)}{dt} = -D(t) \cdot T_{MD} + D(t) \cdot P(t) \cdot T_{FD}$$

Estas ecuaciones fueron propuestas de forma independiente por Alfred J. Lotka en 1925 y Vito Volterra en 1926, por lo que el modelo resultante se conoce como *modelo de Lotka-Volterra* o *modelo depredador-presa*.

Desarrollo de un modelo de Dinámica de Sistemas.

Como ya adelantamos, en el trabajo de [González-Busto \(1998\)](#)⁴¹ se enumeran y describen los pasos para desarrollar un modelo dentro de la Dinámica de Sistemas. Como explica, si bien no hay una manera única de desarrollar un modelo, ya que dependerá en cada caso de sus características singulares, de las distintas metodologías explicadas podríamos concluir que las etapas a seguir son las siguientes:

⁴¹ González-Busto, B., 1998, *La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

- 1.- Descripción del problema
- 2.- Modelo conceptual
 - 2.1.- Lista de variables
 - 2.2.- Diagrama causal
 - 2.3.- Diagrama de flujos
- 3.- Programación del modelo
- 4.- Calibrado
- 5.- Análisis de sensibilidad
- 6.- Verificación
- 7.- Validación
- 8.- Diseño de la optimización
 - 8.1.- Escenarios
 - 8.2.- Estrategias
- 9.- Simulación (una para cada combinación estrategia-escenario)
- 10.- Presentación de los resultados
- 11.- Toma de decisiones

De manera gráfica podemos ver cómo se desarrollan estas etapas en la siguiente figura.

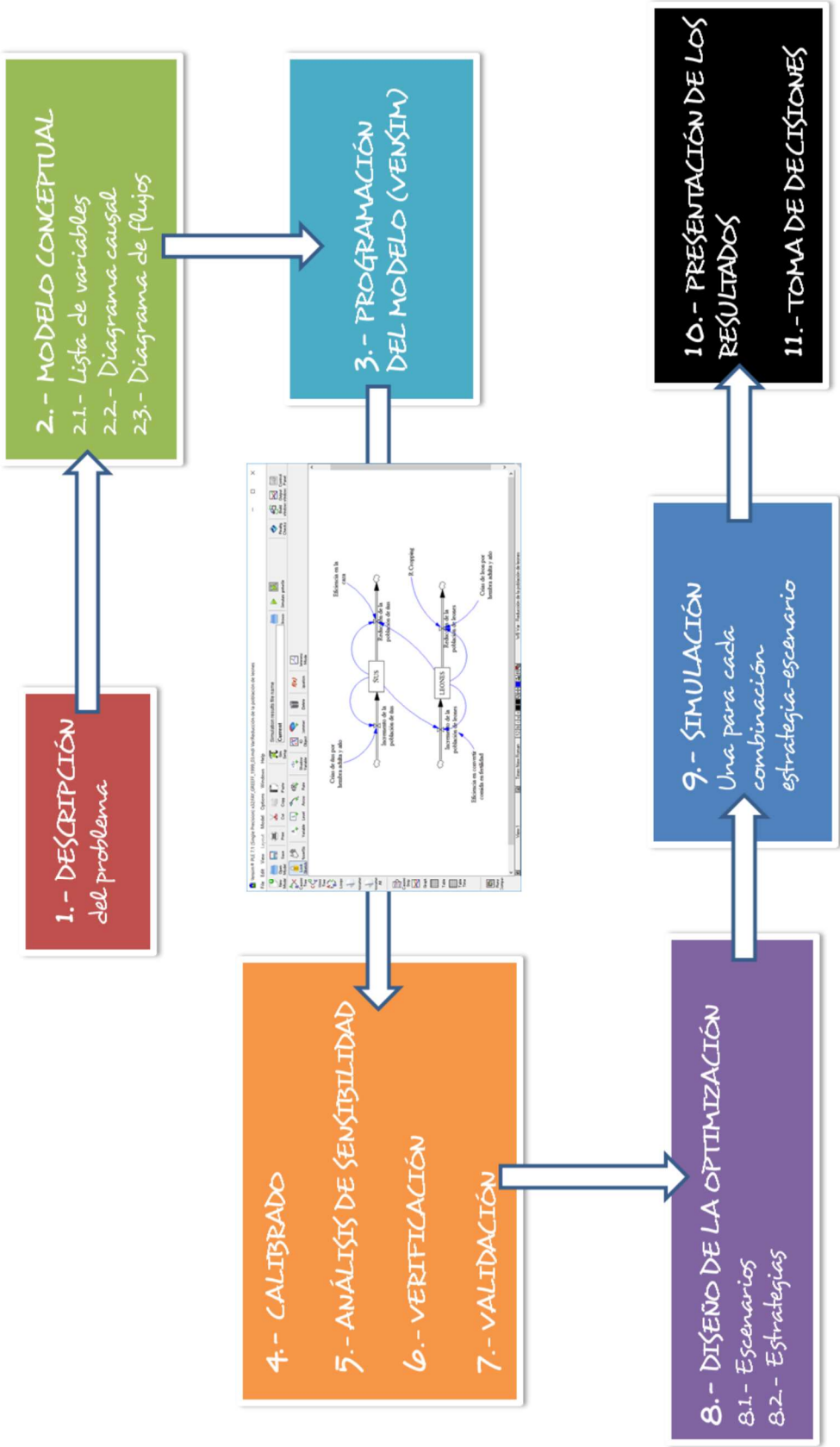


Fig. 3.1.- Etapas de la modelización

Estas fases serán desarrolladas más en profundidad en el capítulo 4 “Resultados y Discusión”, donde se describirá cómo se ha construido el modelo de este estudio.

No obstante, es preciso explicar, que en este estudio no se van a seguir exhaustivamente todas estas fases, ya que algunas de ellas se pueden integrar en otras, o simplemente omitirse.

Etapas de la modelización en este estudio

Como punto de inicio, se describirá el problema teniendo en cuenta la hipótesis de partida.

El modelo conceptual se construirá a partir de las variables que hemos obtenido del análisis de los materiales y datos. Los diagramas causales se omitirán, ya que las mismas relaciones de causalidad entre las variables pueden visualizarse directamente sobre los diagramas de flujos, contruidos en *Vensim* a semejanza de los diagramas de Forrester.

La programación del modelo en *Vensim* consistirá en establecer las fórmulas matemáticas que rigen el comportamiento de las variables, flujos y niveles. Además, los valores se introducirán en base a cantidades constantes obtenidas de los datos, o a través de tablas “*Lookup*” cuando su valor sea diferente según el tiempo.

Las etapas de calibrado, análisis de sensibilidad, verificación y validación permitirán comprobar si los resultados del modelo se corresponden con el patrón de comportamiento real del flujo de visitantes al parque. Con esto podremos hacernos una idea preliminar de la validez del modelo, y ver si hace falta algún ajuste entre la dependencia de las variables entre sí, o en los valores introducidos.

En cuanto al calibrado, como los propios parámetros del modelo son valores históricos que ya hemos explicado que consideramos como válidos y fiables, es una etapa que omitiremos.

La sensibilidad se analizará fácilmente mediante la función “*SyntheSim*”, viendo si al modificar el valor de las variables con los deslizadores, nos aparecen resultados extremos, críticos o imposibles.

En la verificación se comprueba que el modelo se ajuste a los datos históricos conocidos. Se comprobará si se respetan los límites de capacidad, y si el sistema de lanzaderas desplaza efectivamente a los visitantes tanto a la ida como a la vuelta (el parque se llena y se vacía cada día).

La validación, cuya finalidad es comprobar con otros modelos, para predecir a futuro, se hará simplemente con carácter cualitativo, ya que las particularidades de este modelo hacen que no haya otros modelos similares cuyos datos podamos contrastar cuantitativamente.

Para el diseño de la optimización, se crearán distintos escenarios, dependiendo de la cantidad de visitantes diarios. Esto se conectará con las distintas estrategias que los gestores del parque puedan adoptar. Por ejemplo, reducir la capacidad de carga temporalmente por motivos medioambientales, aumentar o reducir las plazas de aparcamiento, aumentar los autobuses lanzadera contratados y su frecuencia, fomentar el uso de transportes públicos frente a turismo, etc.

Con esto, se hará una simulación para cada combinación escenario-estrategia.

Los resultados se expresarán en tablas numéricas y gráficas, presentando los resultados para su discusión en el capítulo 4.

Finalmente, las conclusiones, que quedarán contenidas en el capítulo 5, podrán servir para que el equipo gestor tome decisiones, e implementen estrategias, planes y proyectos.

Vensim PLE

Al tratarse en este caso de una simulación en la que vamos a emplear el software *Vensim*, en primer lugar hemos de analizar y demostrar la validez de esta herramienta.

En la actualidad, el software para la simulación de modelos de dinámica de sistemas es una herramienta habitual y ampliamente aceptada por la comunidad científica. Son varias las marcas disponibles en el mercado: *Vensim*, *Stella*, *PowerSim*, etc.

Por ejemplo, en [Scopus](#)⁴² encontramos 380 resultados sobre *Vensim*, 161 de los cuales son en el ámbito de la ingeniería y 66 en el de las ciencias del medio ambiente.

Para la modelización de sistemas dinámicos en espacios naturales, ya vimos como [Nguyen \(2012\)](#)⁴³ citaba numerosos antecedentes de trabajos científicos en los que se había empleado este tipo de software.

Concretamente, *Vensim* es una herramienta gráfica de creación de modelos de simulación, desarrollada por Ventana Systems Inc., que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas. *Vensim* proporciona una forma simple y flexible de crear modelos de simulación, sean con diagramas causales o con diagramas de flujos

Existen diferentes versiones de *Vensim* (*Vensim* PLE⁴⁴, PLE Plus, Standard, Professional y DSS), pero la más utilizada es la PLE, que es gratuita para uso personal y académico.

⁴² <https://www.scopus.com> Obtenido el 12 de julio de 2018.

⁴³ Nguyen, T., 2012. System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012) Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>

⁴⁴ Para descargar la versión *Vensim* PLE debe hacerse desde la web: <https://vensim.com/free-download/>

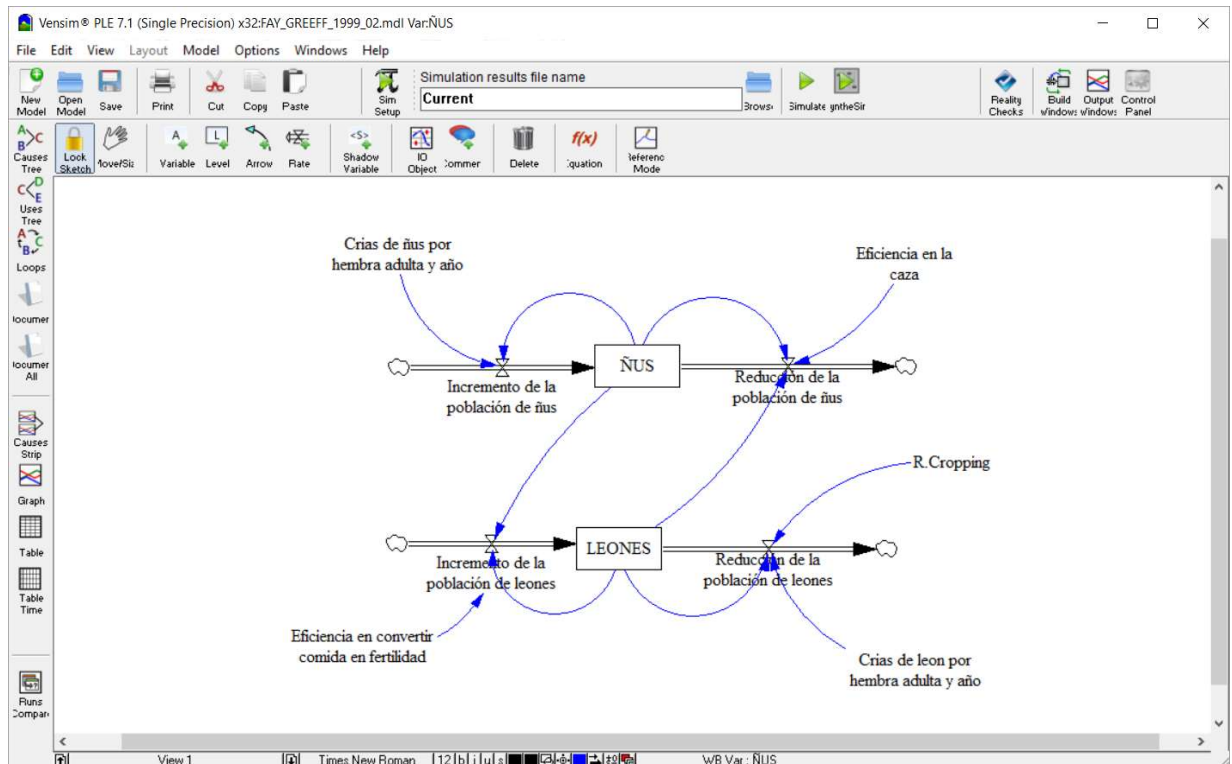


Fig. 3.2.- Pantalla principal de Vensim

Capacidades de Vensim

Entre las capacidades y funcionalidades de este software podemos destacar las siguientes. Para crear los diagramas de Forrester podemos emplear:

Variable — permite crear variables (Constantes, Auxiliares y Datos).

Level— crea las variables de nivel.

Arrow— crea flechas rectas o curvas que representan las relaciones causales.

Rate— crea Flujos, que son flechas perpendiculares a la caja, una válvula y, si fuera necesario, fuentes y sumideros (nubes).

Shadow Variable— agrega una variable existente a la pantalla del esquema como una sombra de la variable (sin añadir sus relaciones causales).

Equation— crea y edita las ecuaciones de un modelo usando el Editor de Ecuaciones. Es especialmente interesante para introducir la función matemática que rige el comportamiento de cada variable o nivel.

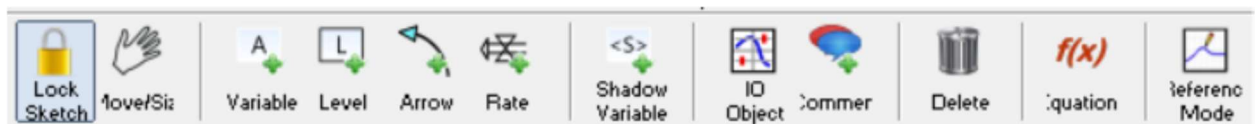


Fig. 3.3.- Herramientas de esquema

Para visualizar las salidas y resultados del modelo, podemos hacerlo de manera gráfica o mediante tablas con las siguientes herramientas:

Causes Strip Graph— muestra gráficos en formato línea, permitiendo observar sus causas, es decir, mostrando la evolución de las causas directas de la variable en la Barra de Trabajo.

Graph— muestra el comportamiento en un gráfico más grande que el Gráfico de Línea y contiene las diferentes opciones de salida para el Gráfico de la Línea.

Table— genera una tabla de valores de salida.

Table Time— genera una tabla de valores se salida frente al tiempo.

Runs Compare— compara todas las tablas *Lookup* y las *Constantes* en la primera simulación resultado de una simulación con los de la segunda simulación.

Otra ventaja de *Vensim* es que de los diagramas de Forrester que realicemos, el programa nos hace directamente un análisis de las relaciones de causalidad, que podemos exportar posteriormente para su análisis. También son muy interesantes las opciones para exportar datos en texto para poderlos luego incluir en el documento del estudio. Al hacer esto, también nos da las expresiones matemáticas, lo que resulta muy útil también para trabajar con el resultado del modelo.



Fig. 3.4.- Herramientas de análisis de simulaciones

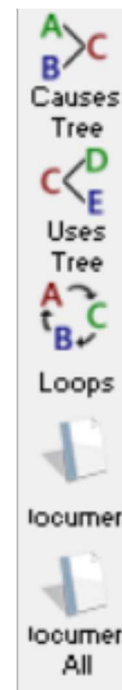


Fig. 3.5.-Herramientas de análisis estructurales

Para la simulación de diferentes escenarios, basta con pulsar *Simulate*, que lanza el proceso de simulación. Podemos guardar diferentes simulaciones en una carpeta, gracias a *Sim Setup*, que permite modificar los parámetros de la simulación sin necesidad de modificar las ecuaciones.

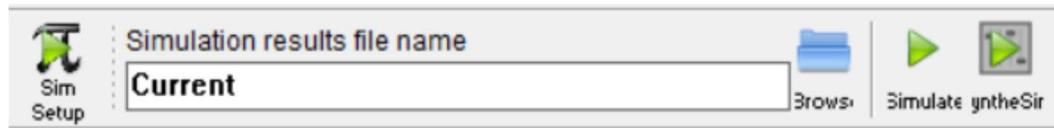


Fig. 3.6.- Herramientas de simulación

Una funcionalidad interesantísima es *SyntheSim*. Ésta nos presenta el modelo con una serie de deslizadores asignados a cada variable, con los valores mínimo y máximo que hayamos elegido, entre los que pueda oscilar. Así podremos desplazar los deslizadores para cambiar los valores de las variables, viendo cómo afecta al modelo tanto gráfica como numéricamente.

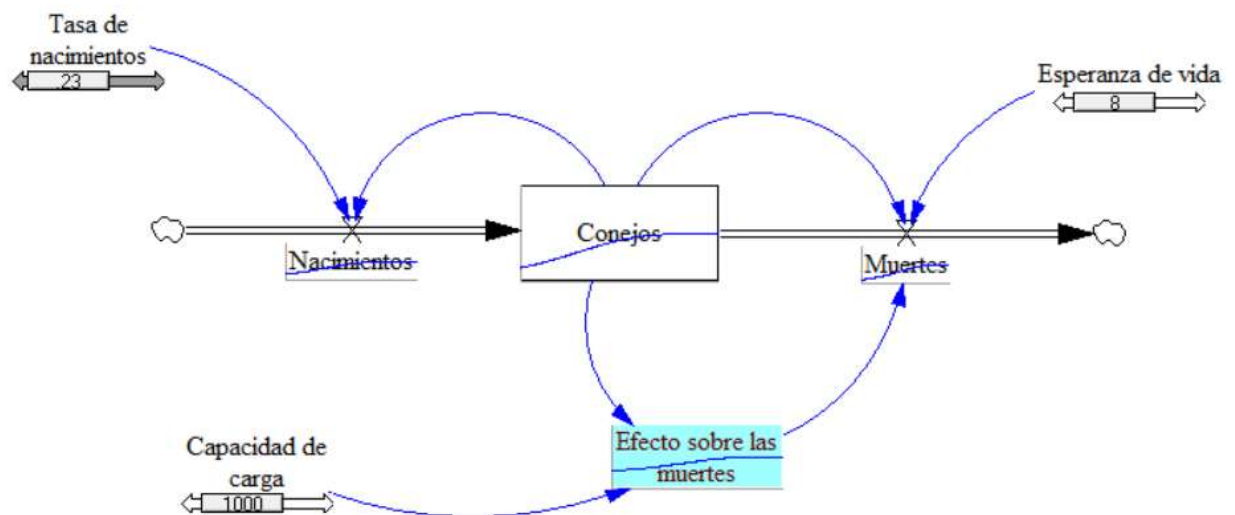


Fig. 3.7.- Modificación de valores mediante SyntheSim

Otra de las funciones que será de gran utilidad para este estudio son las tablas *Lookup*. Mediante las tablas *Lookup* es posible definir relaciones entre unas variables y sus causas ajustadas a las necesidades del usuario de manera gráfica.

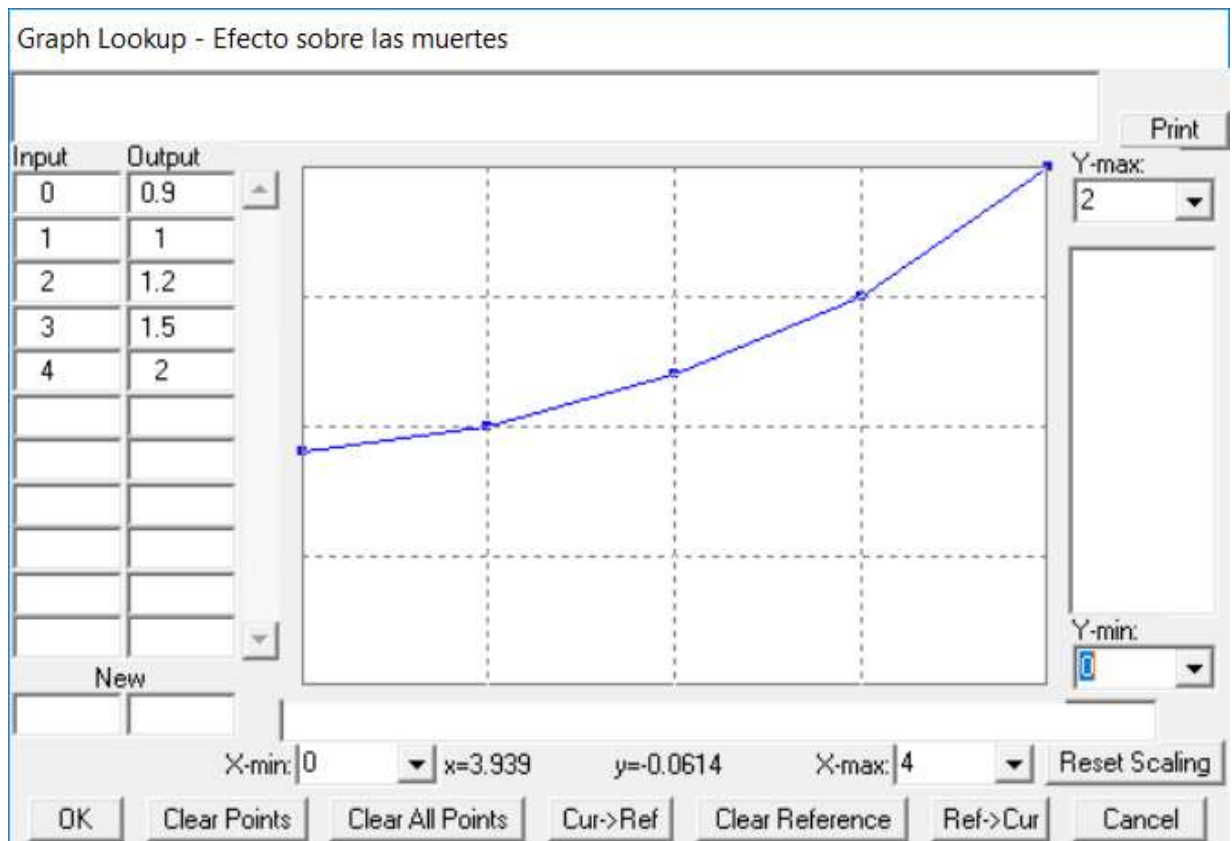


Fig. 3.8.- Tabla Lookup

Para condiciones de uso más avanzadas, estos datos también pueden introducirse importándolos desde hojas de cálculo tipo Excel.

Metodología de análisis

Una vez desarrolladas las etapas de modelización, se obtendrán unos resultados que serán analizados en los capítulos 4 “Resultados y Discusión”, de manera detallada comentando las gráficas y datos obtenidos del modelo en función de los distintos escenarios planteados, y 5 “Conclusiones”, de manera más sintética, resaltando las conclusiones y resultados más importantes de manera concisa y resumida.

Para este estudio, no será tan importante en valor cuantitativo de los resultados, ya que los datos de entrada serán meras referencias sobre las que experimentar y hacer variaciones en los distintos escenarios.

Lo que se pretende es más bien identificar cuáles son las variables que mayor importancia cualitativa tienen en el sistema, para que esto permita a los responsables de la gestión del parque adoptar decisiones en cuanto al uso del mismo.

De esta manera, el objetivo será verificar la hipótesis de partida, que como acabamos de ver, se encuentra además sustentada en datos sólidos y fiables, y desarrollada en base a una metodología contrastada por numerosas fuentes de prestigio.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Descripción del problema

El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido será nuestro objeto de estudio. Este parque ha consolidado su madurez dentro de la Red de Parques Nacionales, siendo el segundo más antiguo. No en vano, este año se celebra el centenario de su creación.

El número de visitas anuales se ha estabilizado en torno a las 600.000. Como vemos en la gráfica, llegó a tener volúmenes de visitantes mayores, y si lo analizáramos por sectores, veríamos que eran cantidades mucho mayores a las actuales. Pero su Declaración como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1997 y la puesta en marcha de su Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) en 1995, en el que se establecía la capacidad de carga de cada sector, limitaron este crecimiento de visitas con el fin de mitigar los impactos medioambientales en el entorno.

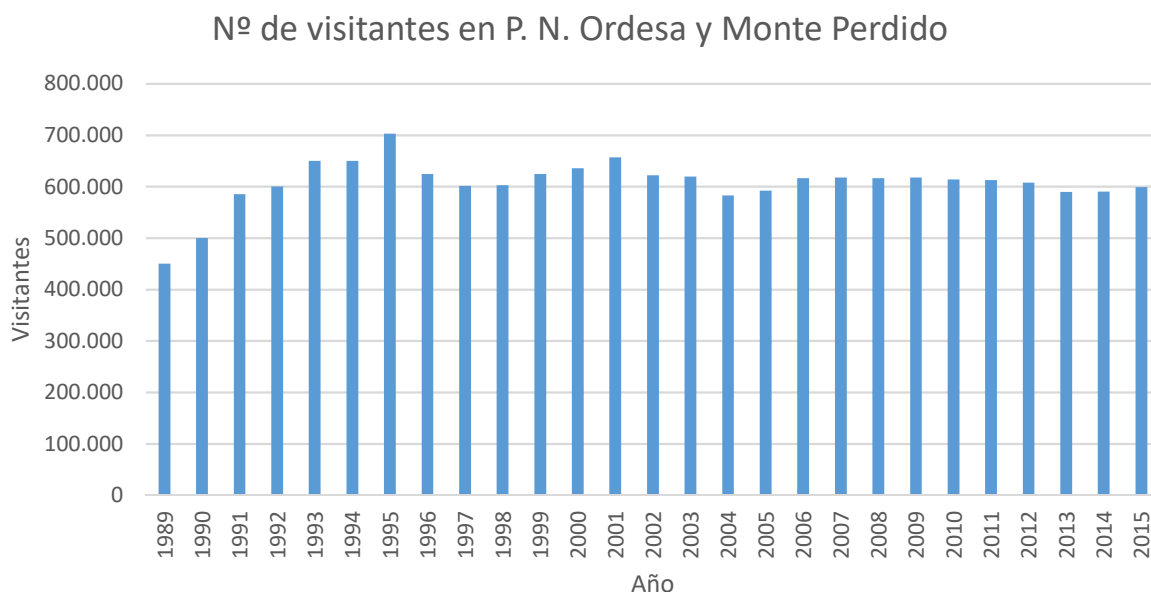


Fig. 4.1.- Visitantes anuales al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (1989-2015)⁴⁵

En las últimas décadas, el turismo en este espacio ha ido cobrando cada vez mayor importancia y supone una importante fuente de ingresos en la economía local.

La afluencia turística se concentra esencialmente en Torla, puerta del sector del valle de Ordesa. Uno de los mayores problemas que presenta la gestión de este Parque Nacional es la concentración de visitas en los meses estivales, especialmente evidente en el valle de Ordesa, con alrededor de 37.000 personas en julio, 55.000 en agosto y 23.000 en septiembre.

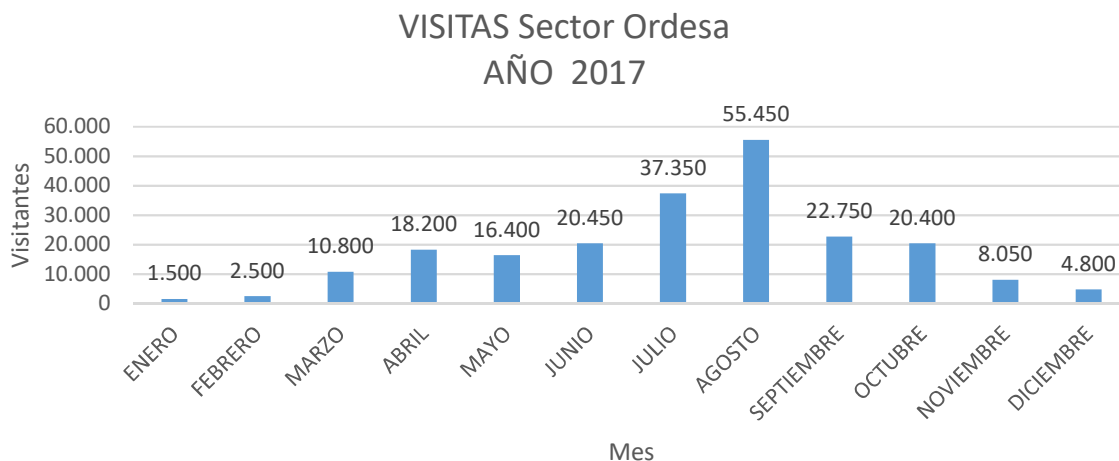


Fig. 4.2.- Estacionalidad de las visitas al sector Ordesa⁴⁶

⁴⁵ Número de visitantes a los Parques Nacionales. Años 1989-2015. (n.d.). Obtenido el 10 de julio de 2018, del Instituto Aragonés de Estadística:

http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia/ci.09_Naturaleza_biodiversidad.detalleDepartamento?channelSelected=0

⁴⁶ Marquina, L., 2017. La regulación de accesos en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido Autobuses lanzadera en el valle de Ordesa. Huesca: Equipo de Uso Público del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

En la Pradera de Ordesa, la concentración de personas y, sobre todo, la de vehículos (con más de 480 turismos y 10 autocares diarios) ocasionaba, años atrás, multitud de problemas en el estado de conservación del parque y en la propia seguridad de los visitantes.

Por ello, el Ministerio de Medio Ambiente puso en marcha durante 1998 el Plan de Accesos de Visitantes al Valle de Ordesa con tres objetivos:

1. Mejorar la calidad de la visita del valle de Ordesa.
2. Disminuir los impactos producidos por los vehículos en el valle de Ordesa.
3. Permitir el acceso a cualquier hora del día dentro del horario autorizado.

Dentro de este plan se ha construido un aparcamiento en Torla, con capacidad para 386 turismos y 17 autocares, habilitando además, autobuses lanzadera que facilitan el acceso de los visitantes al valle de Ordesa.

La creciente sensibilidad hacia temas relacionados con la conservación de la naturaleza, ha frenado desde hace algunos años los proyectos de nuevas vías de tránsito que durante cierto tiempo se consideraron necesarias para el mantenimiento de las poblaciones de montaña. Así, los dos tramos de carretera que penetran en el Parque Nacional están sujetos a una regulación estricta durante la época de circulación intensa. El Plan de Gestión prevé incluso su cierre en estas épocas y el uso alternativo de medios de transporte colectivo para acceder al interior del Parque.

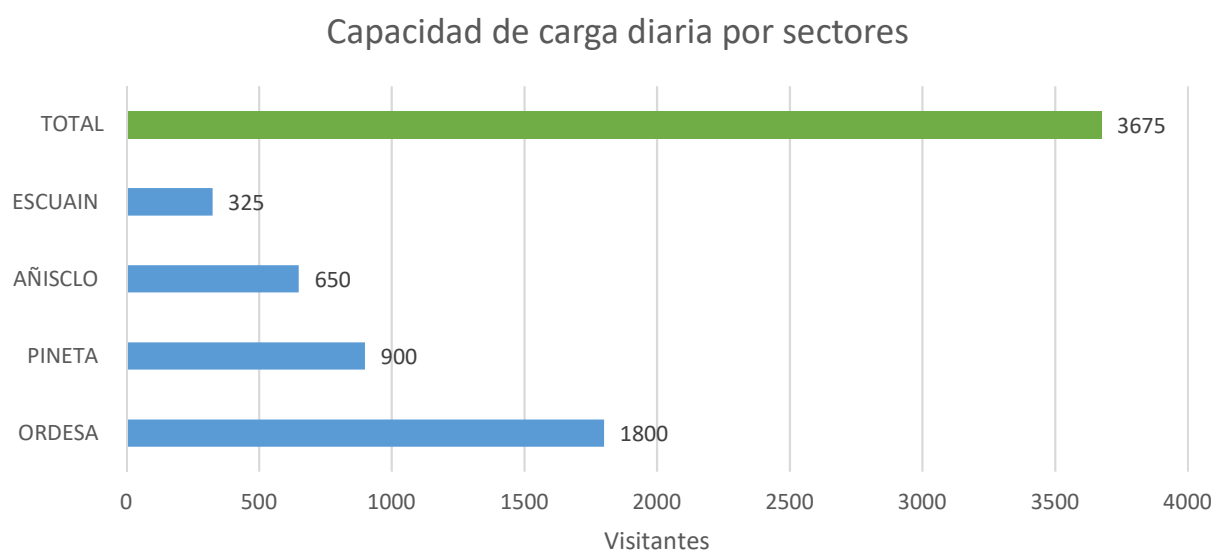


Fig. 4.3.- Capacidad de carga diaria por sectores según el PRUG⁴⁷

Así, una vez descrita la problemática existente, y teniendo en cuenta la hipótesis de partida (*“la dinámica de sistemas aplicada a la sostenibilidad ambiental es útil para la gestión del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido”*), pasaremos a continuación a construir el modelo en el que identificaremos las variables principales, sobre las que podrán adoptar decisiones los órganos gestores del parque.

⁴⁷ Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, 2015. Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su Zona Periférica de Protección. Zaragoza: Gobierno de Aragón.

Modelo conceptual

Descripción del modelo

El modelo que se va desarrollar en este estudio será el correspondiente al sistema dinámico que se establece por el flujo de visitantes en el sector de Ordesa del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, durante el periodo estival.

Durante este periodo, los visitantes llegarán, ya sea en turismos o en autobuses, hasta el parking público de la localidad de Torla (1.032 m), el cual tiene una determinada capacidad de plazas de aparcamiento para cada tipo de vehículo: 386 turismo y 17 autobuses.

Una vez ahí, se dirigirán a la parada del sistema de autobuses lanzadera, que los llevará 8 km carretera arriba hasta la Pradera de Ordesa (1.310 m), punto final del trayecto, y donde comenzarán la visita al parque a través de sus senderos.

La Pradera de Ordesa tiene una capacidad de carga simultánea limitada (1.800 personas), y en caso de superarse esta cantidad los responsables del parque restringirán el acceso hasta que el número de visitantes vuelva a descender de ese límite.

El sistema de lanzadera tiene una frecuencia de subida y de bajada variable, en función de los visitantes que se acumulen esperando para subir o bajar. El número de autobuses disponibles queda determinado por el contrato suscrito por el órgano gestor del parque con la empresa de transportes que proporciona el servicio. Dentro del pliego de condiciones, se establece que la capacidad de los autobuses lanzadera será de entre 50 y 60 plazas.

Una vez finalizan de recorrer los senderos del parque, los turistas vuelven a tomar el autobús lanzadera que los devuelve al parking de Torla, donde embarcan en sus autobuses o turismos, y salen del parque.

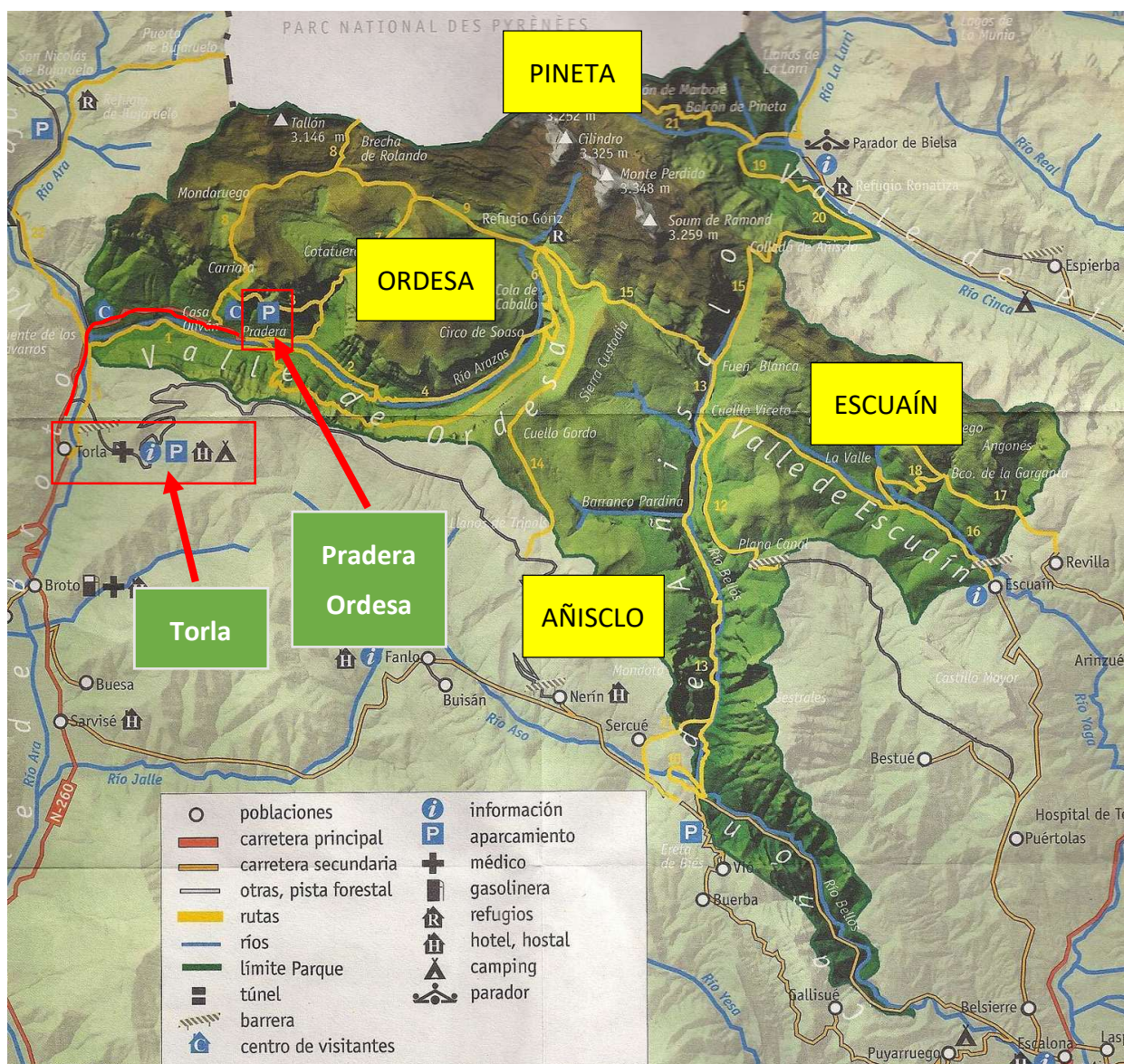


Fig. 4.4.- Mapa Parque Nacional Ordesa y Monte Perdido. Sectores. Lanzadera Torla-Pradera de Ordesa.

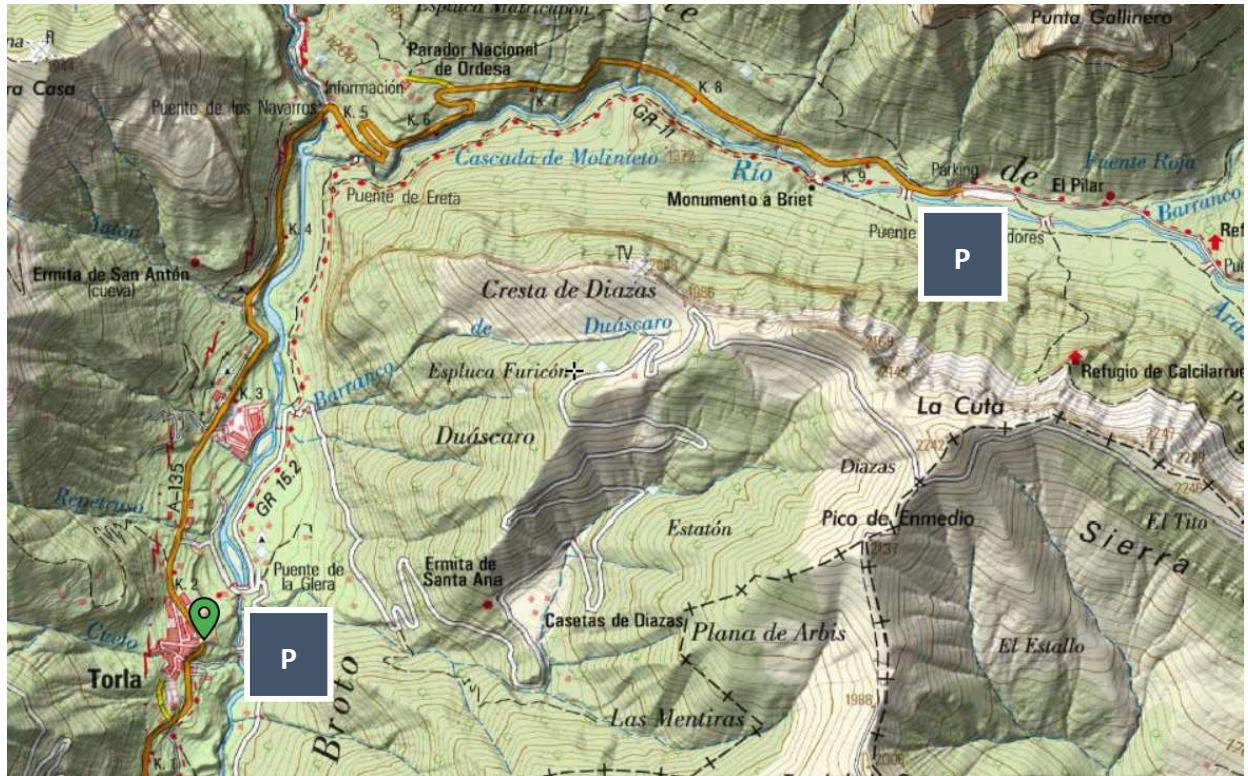


Fig. 4.5.- Detalle lanzadera Torla-Pradera de Ordesa.

Lista de variables

Las variables son obtenidas del análisis previo de los materiales y datos, y después son introducidas en el modelo generado en *Vensim*. La formulación más importante del mismo es la siguiente (en orden alfabético).

Afluencia por hora: Se ha obtenido a partir del conteo de visitantes realizado el 4 de agosto de 1994. Es un buen punto de partida, si bien obviamente cada día habrá ligeras diferencias, la pauta habitual es la de tener el pico de afluencia a primeras horas de la mañana, para ir decayendo hacia mínimos en las horas de tarde. Estos valores se han introducido mediante una tabla "Lookup" normalizada, expresándolos como porcentaje del total de visitantes que llega cada hora, para así poderlo aplicar a la variable *Visitantes diarios*.

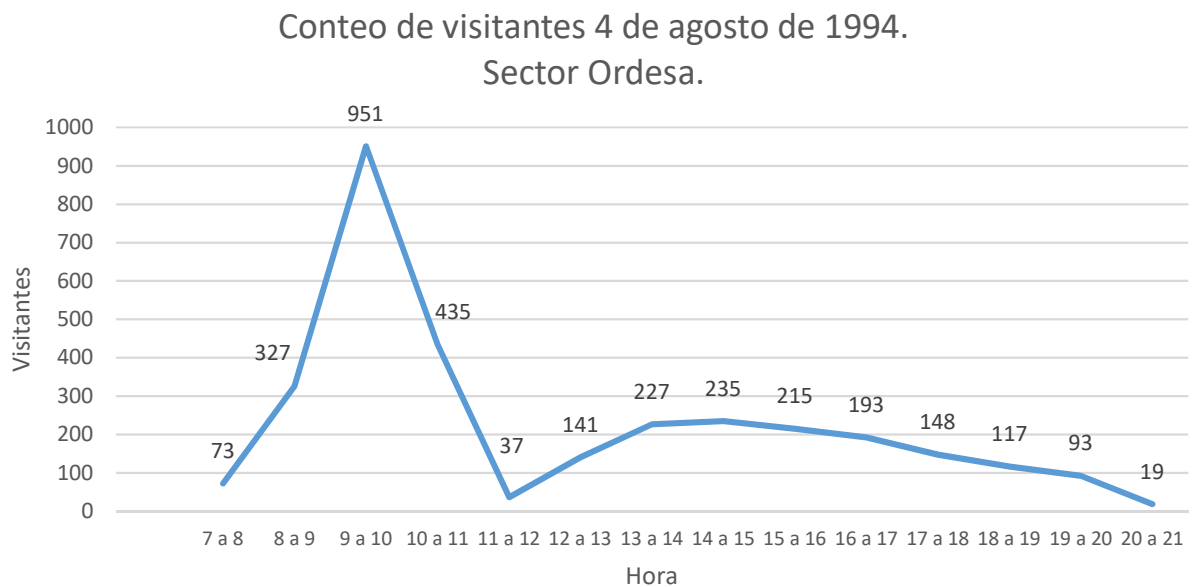


Fig. 4.6.- Afluencia de visitantes por hora

Autobuses en Parking: Son los autobuses que quedan aparcados en el parking de Torla.

$\text{Autobuses en Parking} = \text{Llegada autobuses por hora} - \text{Salida autobuses por hora}$

Capacidad lanzadera: Es la capacidad del autobús lanzadera. Se toma como valor inicial 50.

Capacidad parking autobuses: Es la capacidad del estacionamiento de autobuses del parking de Torla. Tiene una capacidad máxima de 17 autobuses.

Capacidad parking turismos: Es la capacidad del estacionamiento de turismos del parking de Torla. Tiene una capacidad máxima de 386 turismos.

Capacidad Pradera: Es la capacidad de carga máxima, de manera simultánea, de visitantes en la Pradera de Ordesa. Su valor está fijado por la normativa actual en 1800 visitantes.

Espera acceso: Si se supera ese límite de 1800 visitantes simultáneamente en la pradera, los que sigan llegando tendrán que esperar a que otros visitantes vayan saliendo para poder acceder. Se introduce mediante la siguiente combinación de variables y expresiones condicionales.

$\text{Espera acceso} = \text{Exceso espera} - \text{Entrada espera}$

$\text{Exceso espera} = \text{IF THEN ELSE} (\text{Visitantes en Pradera} \geq \text{Capacidad Pradera}, \text{Visitantes en Pradera} - \text{Capacidad Pradera}, 0)$

$\text{Entrada espera} = \text{IF THEN ELSE} (\text{Visitantes en Pradera} < \text{Capacidad Pradera}, \text{Espera acceso}, 0)$

Frecuencia subida: Es el número de autobuses que sube cada hora desde Torla a la pradera. En base a datos del año 2009, podemos establecer que el máximo de autobuses diarios disponibles será de 6, según pliego de prescripciones técnicas de dicho año. Actualmente, hay una serie de horarios fijos a primera y última hora, y el resto suben y bajan conforme se vayan

completando⁴⁸, aproximadamente cada intervalo de 15-20 minutos. Para introducir esta información en el modelo, se ha generado una tabla “Lookup”, en la que se han ido añadiendo más o menos autobuses por hora, en función de la Afluencia por hora de visitantes, para que no se generaran acumulaciones de visitantes esperando a subir, hasta conseguir trasportar a todos a la pradera, y respetando el máximo de autobuses contratados. Se ha puesto un mayor número de autobuses en las horas de mayor afluencia.

Período	Nº días	Nº bus/día	Total
AGOSTO			
1 a 9	9	6	54
10 a 15	6	8	48
16	1	7	7
17 a 21	5	6	30
22	1	7	7
23	1	6	6
24 a 28	5	4	20
29	1	6	6
30	1	5	5
31	1	3	3
		MEDIA 5,8	TOTAL 186

Fig. 4.7.- Número de autobuses lanzadera contratados por día

Frecuencia bajada: Es el número de autobuses que baja cada hora desde la pradera a Torla. Al igual que con la frecuencia de subida, se ha tenido en cuenta el máximo de 6 autobuses diarios disponibles, y se ha generado una tabla “Lookup”, en la que se han ido añadiendo más o menos autobuses por hora, en función de los visitantes pendientes por bajar, para que no se generaran acumulaciones de visitantes esperando, hasta conseguir trasportar a todos de vuelta a Torla. Se ha puesto un mayor número de autobuses hacia las horas finales del día.

⁴⁸ *Horario autobús: El servicio diario de ida, entre Torla y el valle de Ordesa, comenzará a las 6 horas. Terminará a las 19 horas en los meses de julio y agosto. En Semana Santa, del 28 de abril al 1 de mayo, septiembre y del 12 al 14 de octubre el último autobús de subida a la Pradera, partirá de Torla a las 18 horas. El servicio diario de retorno entre la Pradera y la localidad de Torla finalizará a las 22 horas durante los meses de julio y agosto. En Semana Santa, del 28 de abril al 1 de mayo y del 12 al 14 de octubre el último retorno será a las 20,30 horas, y en septiembre a las 21 horas. Obtenido en Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, 2018. Información turística de interés, año 2018, Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Zaragoza: Gobierno de Aragón.*

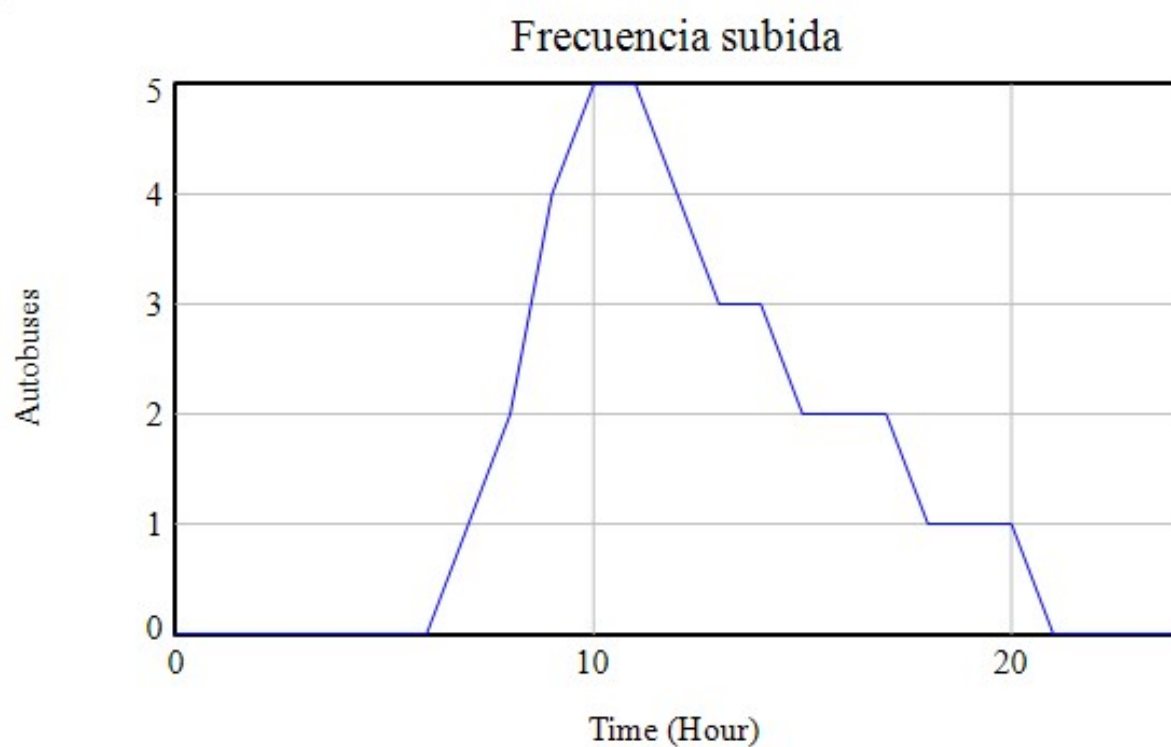


Fig. 4.8.- Frecuencia de subida de autobuses lanzadera

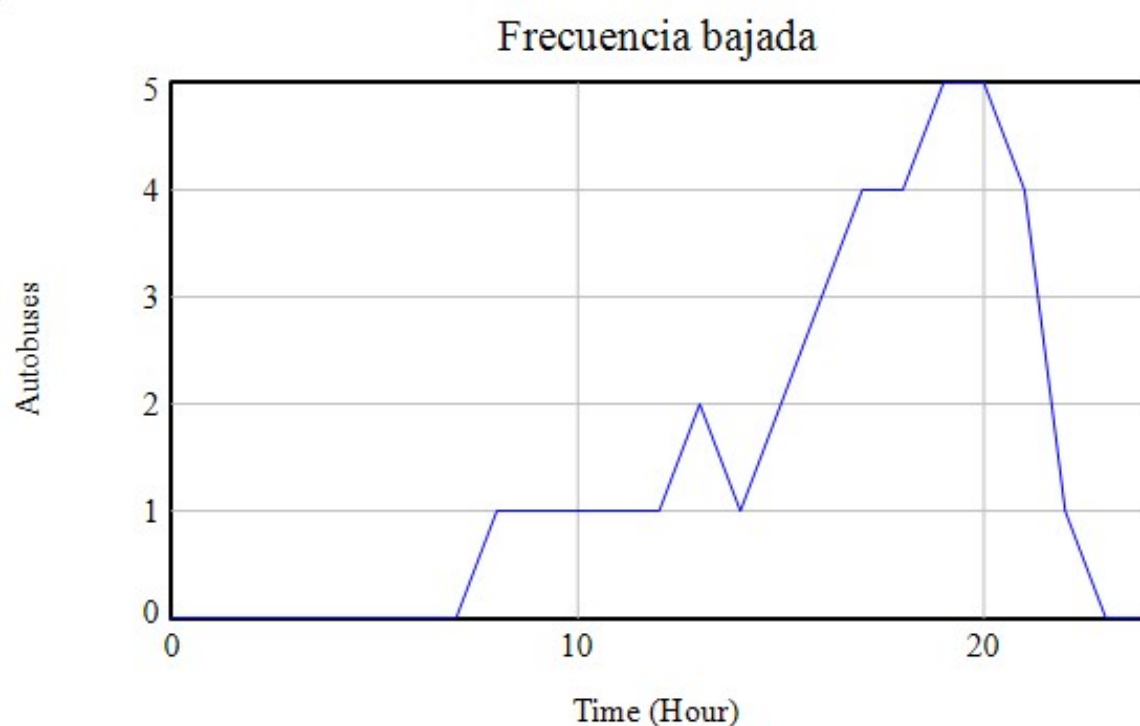


Fig. 4.9.- Frecuencia de bajada de autobuses lanzadera

Llegada autobuses por hora: Es el número de autobuses que llegan cada hora al parking de Torla, y depende directamente de la variable N° Autobuses.

Llegada turismos por hora: Es el número de turismos que llegan cada hora al parking de Torla, y depende directamente de la variable N° Turismos.

Llegadas por hora: Medida en visitantes, es el producto de Afluencia por hora por Visitantes diarios.

$$\text{Llegadas por hora} = \text{Afluencia por hora} * \text{Visitantes diarios}$$

Nº Autobuses: Depende directamente de las Llegadas por hora, y su gráfica adopta la misma forma.

$$\text{Nº Autobuses} = \text{Llegadas por hora} * \% \text{ en Autobuses/Ocupación Autobuses}$$

Nº Turismos: Depende directamente de las Llegadas por hora, y su gráfica adopta la misma forma.

$$\text{Nº Turismos} = \text{Llegadas por hora} * \% \text{ en Turismos/Ocupación Turismos}$$

Ocupación Autobuses: Es el número de visitantes que llegan en cada autobús a Torla. No existiendo datos relativos al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, se ha tomado como referencia el estudio de [Hernández \(2017\)](#)⁴⁹ sobre el Parque Nacional del Teide. En dicho estudio la media anual de ocupación de autobuses era de 38,59 personas. Teniendo en cuenta que en nuestro modelo estamos considerando la época de máxima afluencia en el sector de Ordesa, se ha decidido elevar esta cantidad hasta 50, que emplearemos como valor inicial.

Ocupación Turismos: Es el número de visitantes que llegan en cada turismo a Torla. No existiendo tampoco datos, igualmente se ha tomado como referencia el estudio de [Hernández \(2017\)](#)⁵⁰. En dicho estudio la media anual de ocupación de turismos era de 2,94 personas. Teniendo en cuenta que en nuestro modelo estamos considerando la época de máxima afluencia en el sector de Ordesa, se ha decidido elevar esta cantidad hasta 4, que emplearemos como valor inicial.

Porcentaje de personas que llegan en autobús: Es el valor complementario a las personas que llegan en turismo.

$$\% \text{ en Autobuses} = 1 - \% \text{ en Turismos}$$

Porcentaje de personas que llegan en turismo: Se toma como valor inicial un 80%.

$$\% \text{ en Turismos} = 0.8$$

Salida: Son los visitantes que bajan en la lanzadera, y que al regresar al parking, embarcarán en los autobuses y turismos para salir del parque.

$$\text{Salida} = \text{Capacidad lanzadera} * \text{Frecuencia bajada}$$

Salida autobuses por hora: Se introduce esta variable para simular cómo se vacía el parking de autobuses, según van regresando los visitantes que ya han visitado la pradera y que han bajado con la lanzadera. Se añade también mediante una función condicional la salida del

⁴⁹ Hernández, J. C., 2017. *Parque Nacional del Teide. Visita actual y retos de futuro*. Tenerife: Universidad de la Laguna, Jornadas sobre la movilidad en los Parques Nacionales.

⁵⁰ Hernández, J. C., 2017. *Parque Nacional del Teide. Visita actual y retos de futuro*. Tenerife: Universidad de la Laguna, Jornadas sobre la movilidad en los Parques Nacionales.

exceso de autobuses que pudiese llegar y se encontrase con todas las plazas de aparcamiento de autobuses ocupadas.

```
Salida autobuses por hora=Salida*% en Autobuses/Ocupación
Autobuses-IF THEN ELSE (Autobuses en Parking>Capacidad
parking autobuses, Autobuses en Parking-Capacidad parking
autobuses, 0)
```

Salida turismos por hora: Se introduce esta variable para simular cómo se vacía el parking de turismos, según van regresando los visitantes que ya han visitado la pradera y que han bajado con la lanzadera. Se añade también mediante una función condicional la salida del exceso de turismos que pudiese llegar y se encontrase con todas las plazas de aparcamiento de turismos ocupadas.

```
Salida turismos por hora=Salida*"% en Turismos"/Ocupación
Turismos-IF THEN ELSE (Turismos en Parking>Capacidad parking
turismos, Turismos en Parking-Capacidad parking turismos, 0)
```

Sistema lanzadera: Nos indica el número de visitantes que sube cada hora con las lanzaderas.

```
Sistema lanzadera=Frecuencia subida*Capacidad lanzadera
```

Turismos en Parking: Es el número de vehículos estacionados simultáneamente en el parking de Torla.

```
Turismos en Parking=Llegada turismos por hora-Salida turismos
por hora
```

Visitantes diarios: Es el número de visitantes que acuden durante un día al sector Ordesa. De los datos de la [Fig. 4.2.](#) obtenemos que la media de visitantes diarios al sector Ordesa en agosto de 2017 es de 1789. Por ello, se establece como valor inicial 1800.

Visitantes en Parking: Son los visitantes que quedan en el parking de Torla esperando a subir a la pradera con los autobuses lanzadera.

```
Visitantes en Parking=Llegadas por hora-Sistema lanzadera
```

Visitantes en Pradera: Son los visitantes que han llegado a la pradera y que se encuentran efectivamente visitando el parque a través de sus senderos.

```
Visitantes en Pradera=Entrada espera+Sistema lanzadera-Exceso
espera-Salida
```

Time (tiempo) : La simulación tendrá como ámbito temporal 1 día. La unidad temporal para la simulación será la hora.

```
Valor de hora inicial=0
```

```
Valor de hora final=24
```

Diagrama de flujos

A continuación, se presenta el diagrama de Forrester del problema objeto de estudio. En él se pueden apreciar cómo las distintas variables se distribuyen según sean niveles, flujos, auxiliares o constantes, y se representan las relaciones de causalidad entre las mismas.

Dentro del sistema dinámico que se establece dentro del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, podemos distinguir distintos sub-sistemas y sus relaciones a través del diagrama.

El sub-sistema base lo genera la entrada en el sistema de los visitantes, que una vez en el parking de Torla, tienen que esperar para subir a la Pradera de Ordesa con el sistema de lanzaderas, para posteriormente regresar de vuelta una vez finalizada la visita y salir del sistema.

Con el flujo de llegada de visitantes, se establece un sub-sistema para los turismos, los cuales llegan transportando visitantes, estacionan en sus plazas de parking, y salen una vez finalizada la visita. Idéntico sub-sistema se establece en el caso de los autobuses.

El sistema de lanzaderas constituye otro sub-sistema, con su cadencia de subidas y bajadas transportando visitantes.

Por último, se establece otro sub-sistema que se activa sólo si el número de visitantes que llega a la pradera sobrepasa la capacidad de carga de la misma. En este caso, tendrían que esperar hasta que otros visitantes salgan y se les permita acceder.

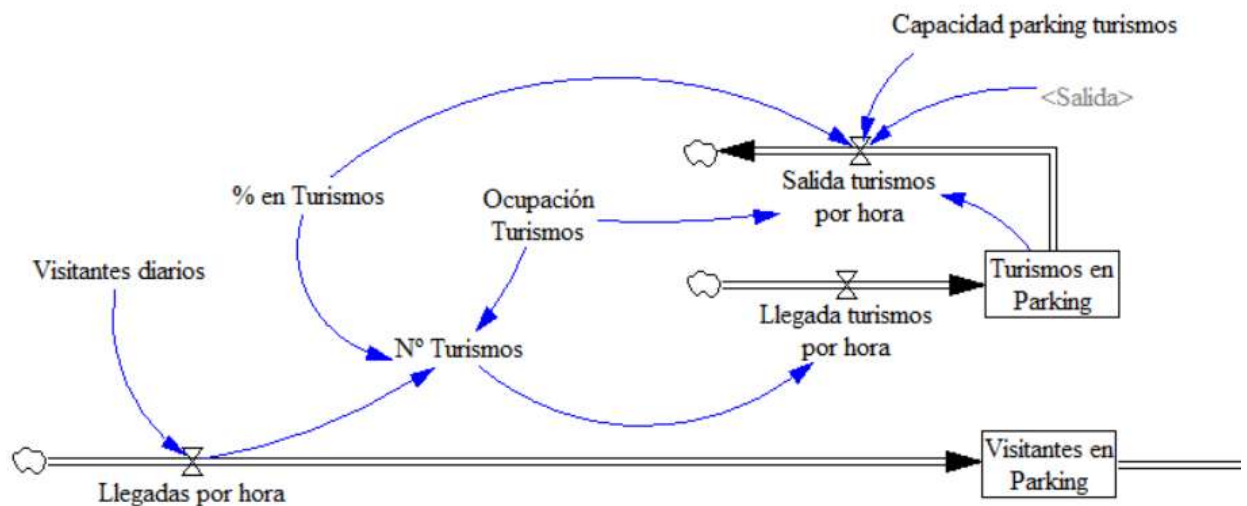


Fig. 4.10.- Sub-sistema de turismos

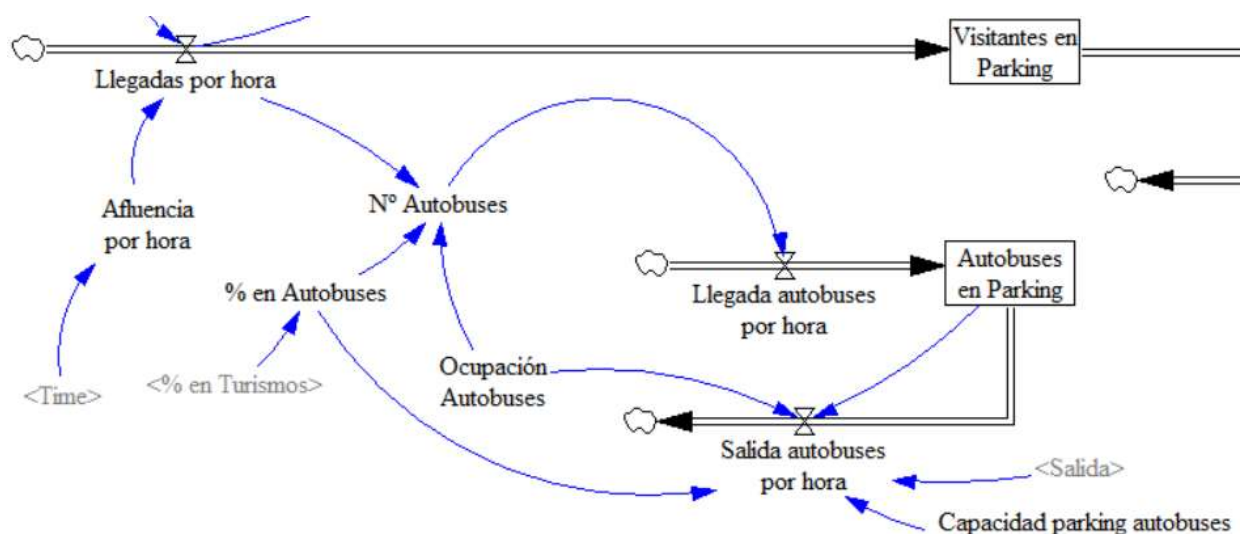


Fig. 4.11.- Sub-sistema de autobuses

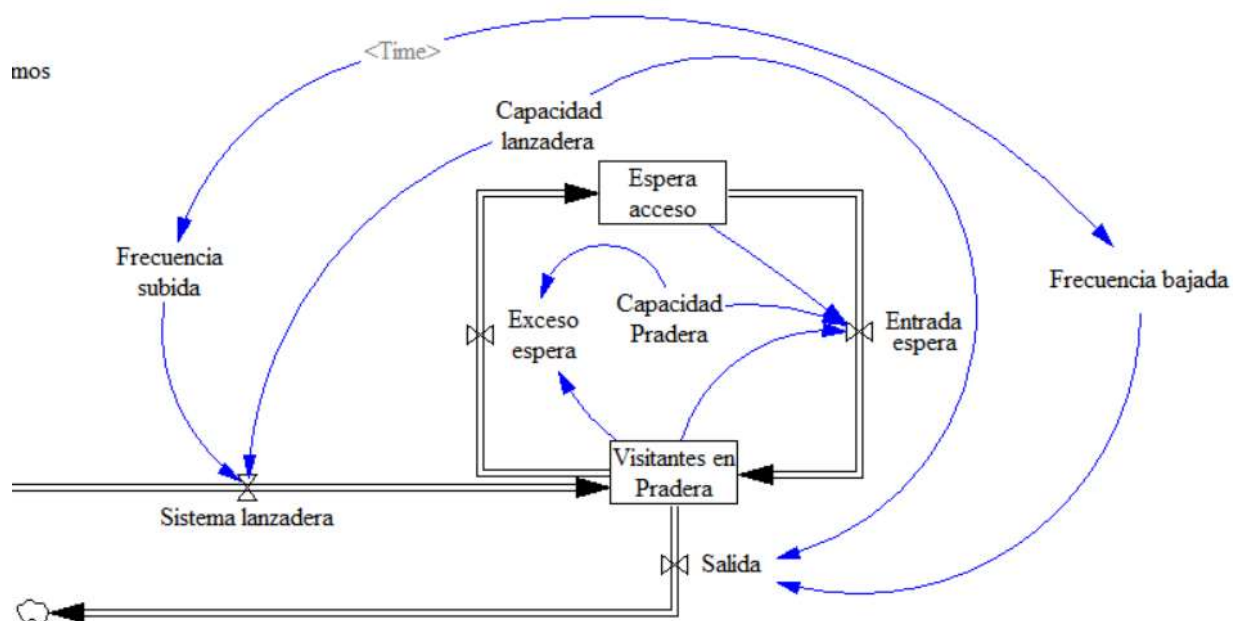


Fig. 4.12.- Sub-sistemas de lanzadera y de espera de acceso a pradera

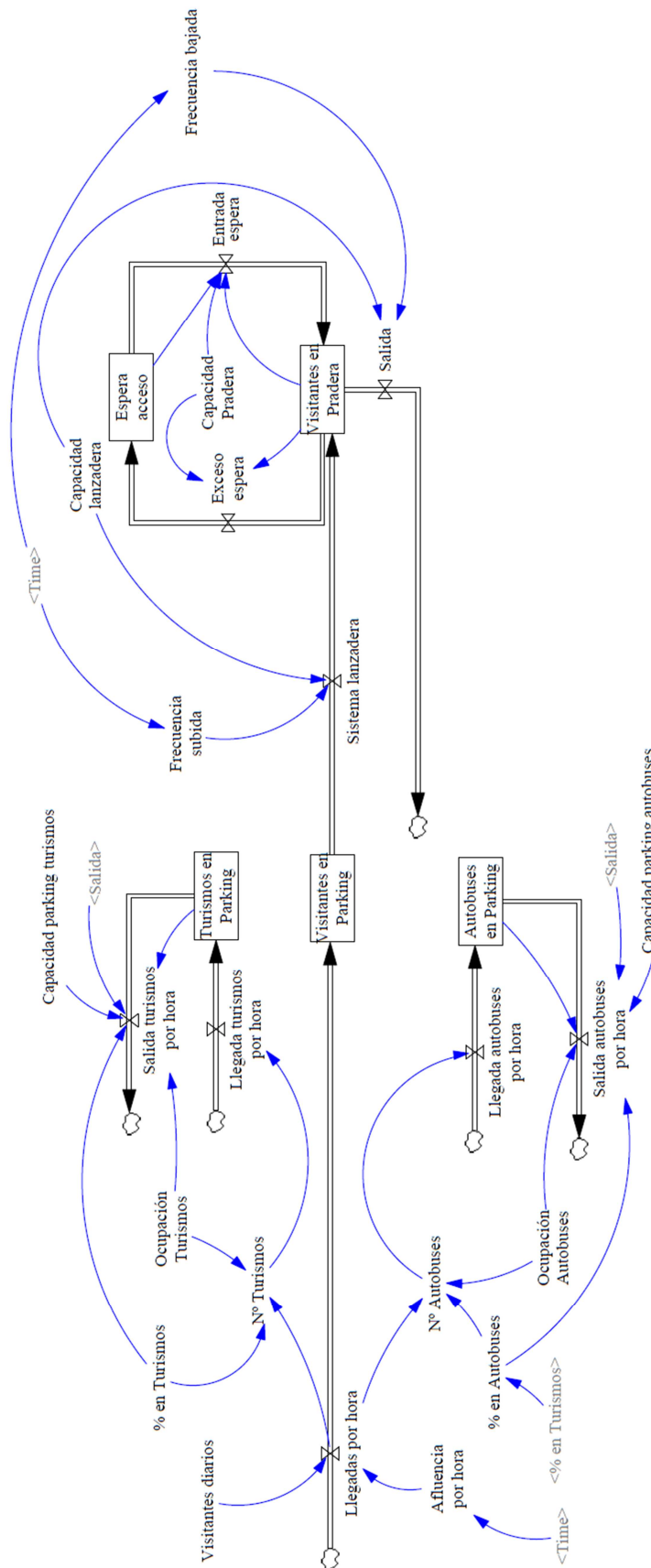


Fig. 4.13.- Diagrama de Forrester del "Modelo TORLA"

Programación del modelo

Se ha realizado empleando el software *Vensim* PLE, generando el archivo “Modelo TORLA.mdl”, con tipo de archivo *Vensim model* (MDL).

En el modelo se han introducido las fórmulas matemáticas que rigen el comportamiento de las variables, flujos y niveles. Además, se han añadido los valores iniciales tanto de las contantes como de las variables vinculadas a la unidad temporal (variable independiente tiempo) a través de tablas “Lookup”.

Mediante flechas se han establecido las relaciones entre variables.

Se han ajustado las expresiones de las distintas fórmulas matemáticas, comprobando la sintaxis de cada ecuación.

Se han empleado las opciones “Model Check” y “Units Check” para verificar posibles errores en la construcción de modelo que nos pudieran producir errores en la simulación.

Finalmente, se ejecuta la simulación y se guarda como archivo “Simulacion inicial.vdf”. Se observa que a priori el modelo es estable y las gráficas y valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros esperados. En las siguientes etapas se procede a comprobar si los resultados del modelo se corresponden con el patrón de comportamiento real del flujo de visitantes al parque. Con esto podremos hacernos una idea preliminar de la validez del modelo, y ver si hace falta algún ajuste entre la dependencia de las variables entre sí, o en los valores introducidos.

Análisis de sensibilidad

La sensibilidad la analizamos mediante la función “SyntheSim”, viendo si al modificar el valor de las variables con los deslizadores, nos aparecen resultados extremos, críticos o imposibles.

Comprobando la sensibilidad de cada variable obtenemos lo siguiente.

Visitantes diarios: Al disminuir el número de visitantes con respecto al valor inicial, se obtiene resultados negativos en visitantes en parking. Esto se debe a que las frecuencias de subida y bajada se han optimizado para que no se formasen largas esperas para tomar la lanzadera, y para que la final del día el parque quedase vacío. Ante esta disminución, habría que replantear la tabla “Lookup” de la frecuencia de subida y bajada de la lanzadera. Aumentando el número de visitantes diarios, se comienzan a acumular visitantes en el parking que no han llegado a poder subir en lanzadera a la pradera, y a partir de los 3000, empiezan a aparecer resultados negativos en las salidas de turismos del parking.

Porcentaje en turismos: Un porcentaje del 100% anula todo lo relativo a los autobuses, pues nadie vendría en ellos. Con valores inferiores al 8% aparecen resultados negativos en la salida de autobuses por hora. Esto puede corregirse aumentando la ocupación de los autobuses.

Ocupación de turismos: Conforme se aumenta, disminuye el número de turismos en el parking. Con un valor de 1, hace que aparezcan resultados negativos en las salidas de turismos por hora.

Capacidad parking turismos: Si es inferior a 184, se producen resultados imposibles, pero puede corregirse aumentando la ocupación de los turismos. Su aumento no afecta al modelo, nos sobrarían plazas de aparcamiento.

Capacidad parking autobuses: Si es inferior a 4, se producen resultados imposibles, pero puede corregirse aumentando la ocupación de los autobuses. Su aumento no afecta al modelo, nos sobrarían plazas de aparcamiento.

Capacidad lanzadera: Como era de esperar, aumentando la capacidad de los autobuses lanzadera, se consigue aumentar el número de visitantes que están simultáneamente en la pradera, se reduce el número de visitantes esperando para subir, y se vacía antes el parque. Reduciéndola tenemos el efecto contrario.

Capacidad pradera: Si la aumentamos no ocurre nada, pero si la disminuimos, a partir de 949 visitantes simultáneos permitidos, se empieza a generar una espera de visitantes que no puede acceder a los senderos del parque hasta que otros decidan regresar, por haberse superado la capacidad de carga.

Verificación

A continuación, es necesario comprobar si el modelo se ajusta a los datos históricos conocidos. Como se puede observar en las siguientes figuras, en todo momento se respetan los límites de capacidad, y se cumple que el sistema de lanzaderas desplaza efectivamente a los visitantes tanto a la ida como a la vuelta (el parque se llena y se vacía en el día).

Las Llegadas por hora siguen la misma gráfica que la [Fig. 4.6](#).

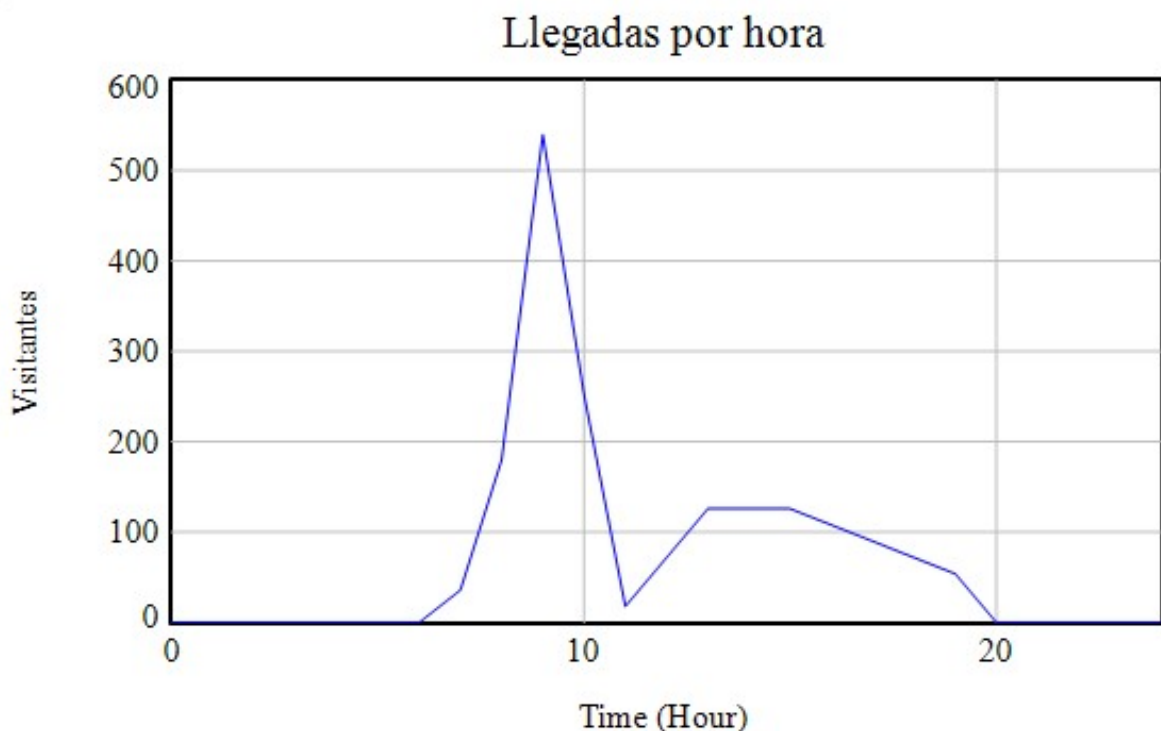


Fig. 4.14.- Llegadas de visitantes por hora

Los turismos y los autobuses conforman por su parte dos sub-sistemas. Las llegadas por hora de turismos y autobuses siguen idéntica gráfica que las de visitantes. Los parkings se van llenando y vaciando a lo largo del día, y el regreso de las lanzaderas nos determinará el ritmo con el que turismos y autobuses salen del parque.

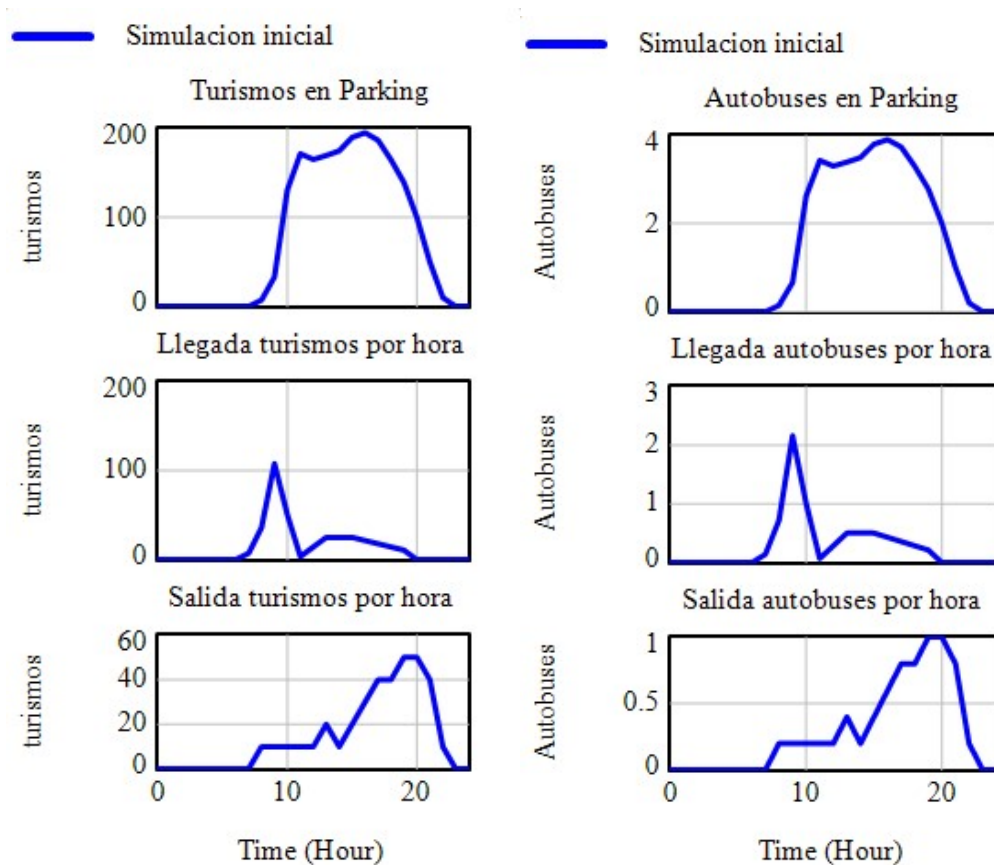


Fig. 4.15.- Sub-sistemas de turistas y autobuses

Los visitantes que están esperando en el parking de Torla a embarcar en las lanzaderas han tratado de minimizarse diseñando la frecuencia de subida más óptima para hacer frente especialmente al pico de visitantes que se produce entre las 9 y 11 de la mañana. Estas frecuencias de las lanzaderas son las vistas en las Fig. 4.8. y 4.9. Nótese que aparece un valor negativo. Esto tiene una sencilla explicación: en las primeras horas, las lanzaderas suben a la hora determinada, pero sin haberse llegado a llenar de visitantes porque todavía no hay suficientes.

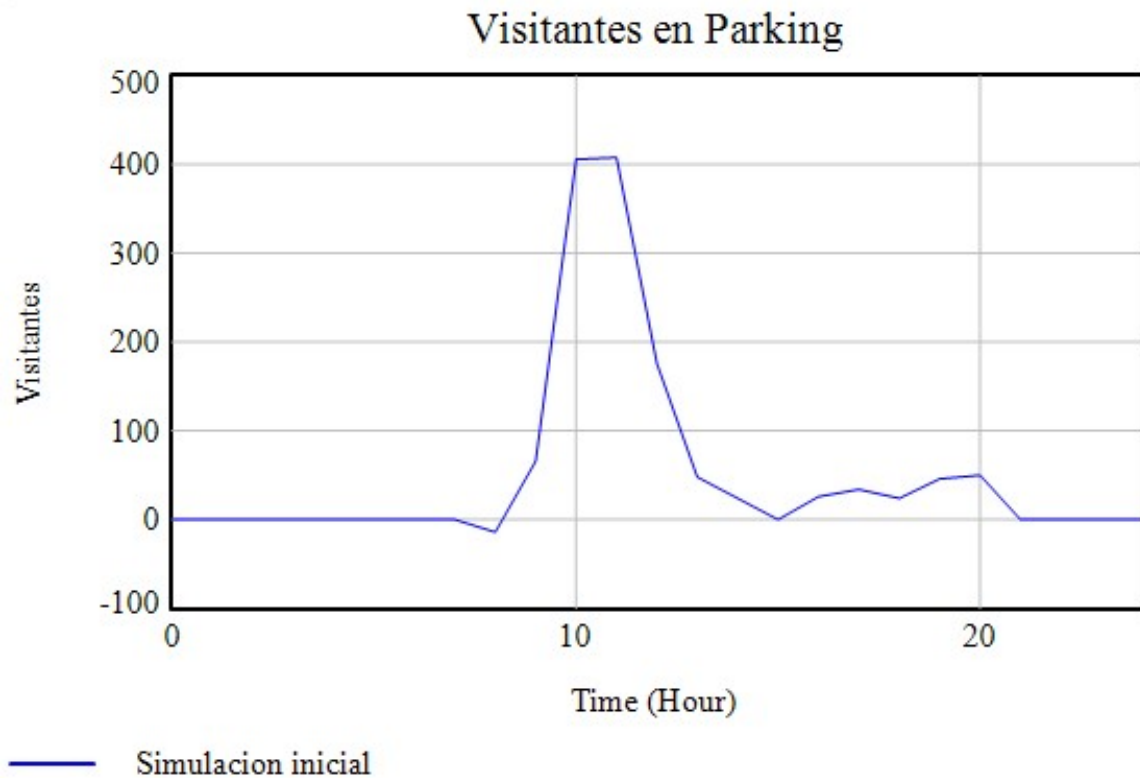


Fig. 4.16.- Visitantes en el parking esperando a montar en lanzadera

En cuanto a la Pradera de Ordesa, vemos que se ha ido llenando a lo largo del día, sin alcanzar su máximo de capacidad de carga. Las lanzaderas de subida traen más visitantes en la primera mitad del día, y las de bajada se llevan la mayor parte de visitantes en la segunda mitad.

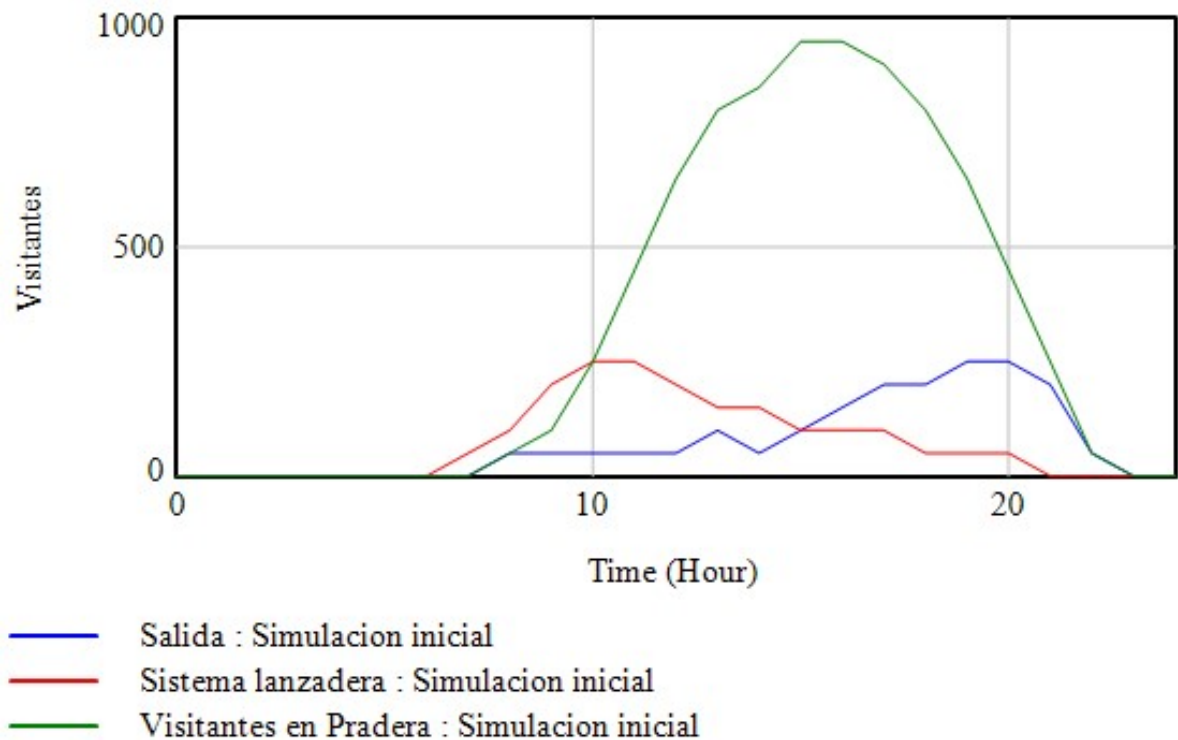


Fig. 4.17.- Entradas y salidas de visitantes en lanzadera a la pradera

Validación

Comparando este modelo con otros ya comentados a lo largo de este estudio, como el de [Nguyen \(2012\)](#)⁵¹, éste se trata de un modelo más sencillo, ya que no desarrolla el flujo de visitantes posterior en los distintos senderos y rutas del parque. Tampoco se desarrollan otros factores como el tiempo que se tarda en aparcar, la reacción en caso de no encontrar aparcamiento (salir del parque o ir a otros aparcamientos alternativos), la capacidad de tránsito de las carreteras, la duración de las visitas, la existencia de actividades alternativas al senderismo como por ejemplo un centro de interpretación

No obstante, las variables y las relaciones de causalidad entre las mismas son idénticas, llegándose a resultados y conclusiones similares sobre las dinámicas y flujos que se establecen en el parque.

Por ello, se está en condiciones de afirmar que cualitativamente, en comparación con otros, se trata de un modelo perfectamente válido para los fines perseguidos.

Diseño de la optimización

Escenarios

A continuación, se plantean dos escenarios diametralmente opuestos con respecto a la situación presente, pero que perfectamente pudieran presentarse en el futuro.

Escenario A: Aumento del número de visitantes diarios hasta alcanzar la capacidad de carga de la pradera.

Escenario B: Necesidad de reducir los impactos sobre el parque, reduciendo un 50% el número de visitantes diarios.

Estrategias

Ante estos escenarios, se plantean las siguientes estrategias que los gestores del parque pueden adoptar.

Estrategia A.1: Aumentar la capacidad de aparcamiento en Torla.

Estrategia A.2: Aumentar la frecuencia y capacidad de las lanzaderas.


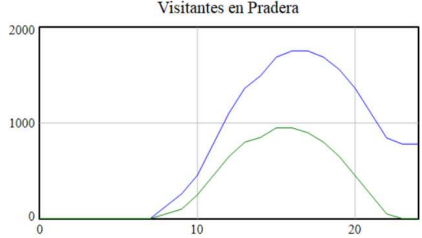
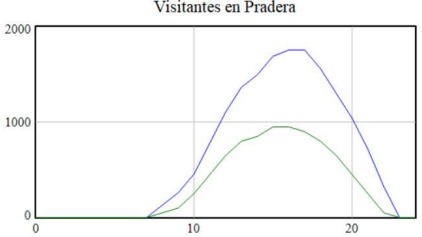
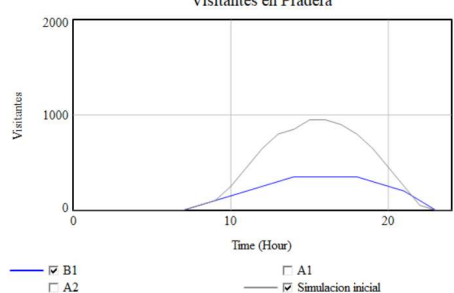
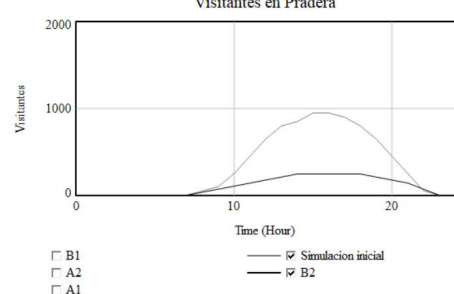
Estrategia B.1: Reducir la capacidad de aparcamiento en Torla, fomentando el uso de transporte colectivo.

Estrategia B.2: Reducir la frecuencia y capacidad de las lanzaderas.

Simulación

En la siguiente tabla se recoge la simulación realizada sobre el modelo para cada combinación escenario-estrategia. Se efectúa empleando la función "SyntheSim". Sólo se interviene sobre las variables que se mencionan, dejando el resto con el mismo valor inicial.

⁵¹ Nguyen, T., 2012. *System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012)* Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>

Escenario	Estrategia	Simulación	Resultado	Comentarios
A	A.1	Aumentar plazas turismos a 500 y plazas autobuses a 20.	Podrían llegar a Torla hasta 3650 visitantes diarios, pero hay que aumentar las lanzaderas para llevarlos a la pradera.	Sin más lanzaderas, se genera exceso de visitantes que no llega a subir. 
A	A.2	Aumentar la capacidad de las lanzaderas a 65, y poner una lanzadera más de subida cada hora.	Se alcanzan los 1755 visitantes en la pradera. El aumento de visitantes diarios no afecta.	 Habría entonces que aumentar también la frecuencia de bajada, especialmente en las horas finales del día. 
B	B.1	Visitantes diarios = 900. Se reducen las plazas para turismos a 200 y las de autobuses a 10. Se fomenta para que el porcentaje en autobús sea del 60%.	Se reduce el número de visitantes que llegan a la pradera. Se puede reducir al número de lanzaderas hasta 2 por hora en cada sentido.	
B	B.2	Visitantes diarios = 900. Se reduce capacidad de lanzaderas a 35.	Se tiene que reducir también la frecuencia de las lanzaderas, hasta 3 por hora en cada sentido.	

Discusión

Este modelo se ha desarrollado a través de un proceso iterativo de mejora continua, al que se han ido añadiendo variables progresivamente, haciendo ajustes continuamente, hasta lograr que el resultado fuese capaz de reflejar la dinámica del parque de la manera más real posible.

El desarrollo del modelo es adecuado y suficiente para demostrar la utilidad de aplicar la metodología de la dinámica de sistemas a la gestión de un Parque Nacional, que nos permitirá poner a prueba las políticas que en materia de sostenibilidad medioambiental se quieran llevar a cabo.

En este modelo vemos que, dado que los visitantes se reparten a lo largo del día, el máximo que se alcanza en la pradera es inferior al total diario. Algo que resulta evidente, puesto que ya hay visitantes que comienzan a marcharse al medio día mientras otros todavía siguen subiendo.

Si se quiere optimizar el uso de las lanzaderas, hay que modificar sus frecuencias de subida y bajada en función del número de visitantes diarios.

Respecto al uso de autobuses y turismos, en este modelo hay dos sub-sistemas para el flujo de llegadas, salidas y estacionamientos de estos vehículos, uno para cada uno de ellos. Se observa que sólo tiene repercusión cómo se distribuyen los visitantes a la hora de optar por un medio de transporte u otro.

Lo verdaderamente determinante para la carga sobre la pradera es el sistema de lanzadera. Se ha podido comprobar que los flujos en Torla no afectan, y que el verdadero cuello de botella nos lo crea el sistema de autobuses lanzadera, que depende de su frecuencia y capacidad de visitantes por lanzadera.

Aquí vemos un importante resultado para los gestores del parque. Según esto, sería preferible apostar por las mejoras encaminadas al sistema de lanzadera, más que por las destinadas a los accesos a Torla o a una eventual ampliación de las plazas de aparcamiento.

Los resultados obtenidos nos inspiran un grado elevado de credibilidad y fiabilidad sobre el modelo. El comportamiento simulado en los distintos escenarios nos da resultados lógicos y predecibles de manera intuitiva, y ya desde su primer planteamiento estos resultados se ceñían a los límites y valores iniciales que existen en condiciones reales.

Ventajas

Estos resultados del modelo nos han permitido confirmar los comportamientos del sistema dinámico que ya intuíamos, lo cual ya supone un avance importante a la hora de poder hacer afirmaciones sobre el sistema mejor fundamentadas.

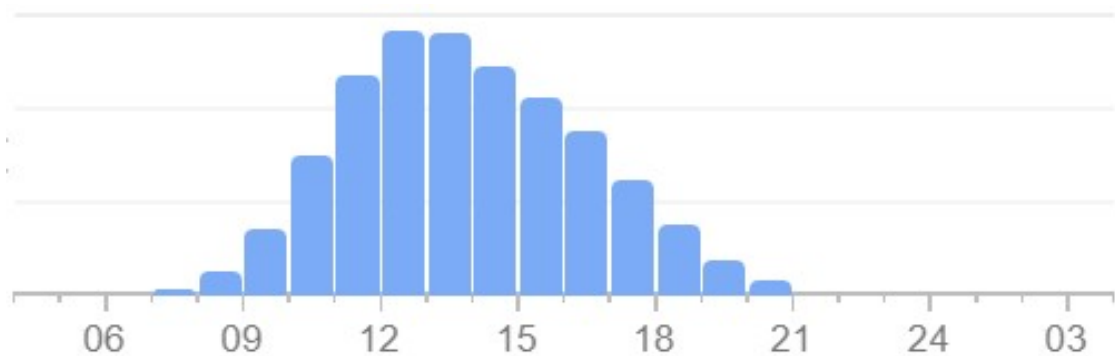
El principal valor que aporta esta metodología es la posibilidad de experimentar infinidad de políticas y estrategias sobre el modelo, con un coste bajo, y con una anticipación adecuada. Si hubiésemos tratado de obtener los mismos resultados de los distintos escenarios de manera experimental, esto hubiera consumido enormes cantidades de tiempo y recursos, con un grado de incertidumbre considerable, con consecuencias negativas difíciles de prever en algunos casos, y cuya resolución una vez manifestadas sería complicada.

Otra ventaja es que, incluso careciendo de datos suficientes para alguna variable, éstos se pueden inferir y, aunque se desconozca el valor exacto, el modelo permite saber con un alto grado de fiabilidad cómo es el comportamiento relativo si este valor aumenta o disminuye.

Inconvenientes

A la hora de realizar el modelo han aparecido dificultades, principalmente debidas la escasez de datos disponibles, y a la novedad de este tipo particular de estudio, que no tiene casos semejantes con los que compararse.

El modelo asume una serie de premisas que han de ser tenidas en consideración. Por ejemplo, la afluencia de visitantes por hora responde a una gráfica particular de la que sólo tenemos una observación. Es probable que haya días en los que esto no se cumpla, bien por la propia evolución natural de la demanda e interés de los visitantes, o por causas externas como la meteorología o la existencia de eventos que condicionen esta distribución temporal de las llegadas de visitantes. A modo de ejemplo, según el estudio de conexiones de *Google* sobre los visitantes por hora al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, vemos que la gráfica presenta el siguiente aspecto.



*Fig. 4.18.- Google: Visitantes por hora al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante un sábado*⁵²

Temporalmente, también se asume que según llegan los visitantes en vehículo o autobús van inmediatamente al sistema de lanzadera sin que exista retraso. Esto no es del todo real, ya que en Torla existen establecimientos hosteleros que pueden diferir este acceso al sistema de lanzadera. Así mismo habría que tener en cuenta cómo influiría el hecho de que las personas que lleguen decidan primero acudir al Centro de Visitantes, cuestión que veremos en el punto siguiente como posible mejora del modelo.

Se asume que los vehículos llegan y salen transportando un porcentaje sobre el total de visitantes diarios, en función de la hora del día. Habría que tener en cuenta, especialmente en el caso de autobuses que transporten a grupos, que éstos realmente no saldrán del sistema hasta que las mismas personas que han traído hayan regresado de nuevo desde la pradera al parking.

Para las lanzaderas, se asume que suben y bajan completas, cuando esto no siempre es así. El porcentaje de ocupación de las lanzaderas podría ser otra variable a incluir.

Tampoco se han tenido en cuenta otras posibles formas de acceder al sistema: a pie hasta Torla, a pie hasta la pradera, visitantes que llegaron el día anterior a Torla o alrededores y han pernoctado, etc.

⁵² Google, basado en datos de visitas al lugar. Obtenido el 23 de julio de 2018 en https://www.google.es/search?ei=80ZWW_m2DaPjsAeVsgeoAw&q=parque+nacional+ordesa+y+monte+perdido&og=parque+n&qsl=psy-ab.3.0.35i39k1l2j0i67k1l2j0i131k1l2j0l3.11817.13310.0.14366.8.8.0.0.0.156.745.0j5.5.0....0...1c.1.64.psy-ab..3.5.745...0i131i67k1.0.j13OU2Biw7w

Posibles mejoras

Como todo modelo, siempre queda lugar para mejoras. En caso de disponer de más tiempo y recursos para la investigación, así como de nuevos datos estadísticos, algunas de las mejoras que podrían implementarse sobre este modelo serían:

- Dotarle de más realismo teniendo en cuenta el modo en cómo se llenan los autobuses, en el caso de que esperen hasta completarse para realizar el recorrido de lanzadera.
- Incluir el efecto de retardo que tendría para la incorporación a la visita al parque la existencia del Centro de Visitantes de Torla, donde habría que tener en cuenta su capacidad, duración media de la visita, etc.
- Introducir los tiempos que tardan los visitantes en encontrar a aparcamiento o esperando a que quede sitio en el parking de Torla.
- Ampliar el concepto plazas de parking para incluir otras zonas de estacionamiento previas a Torla, o incluso añadir también la capacidad de los parkings de los establecimientos turísticos.
- Integrar el modelo con los otros sectores del parque, y analizar cómo afecta la saturación de un sector al trasvase de visitantes de un sector a otro.
- Ampliar el modelo con la red de senderos del parque, para analizar cómo se distribuyen los visitantes por la misma, y qué impactos puede generar esto. Aquí se abre un abanico enorme de posibles medidas a adoptar y que se podrían simular en el modelo, como promocionar más unos senderos que otros que se quieran preservar, establecer zonas de miradores y rutas interpretativas para fijar las visitas a una serie de zonas que nos interesen, canalizar indirectamente a los visitantes a través de una oferta de visitas guiadas, etc.
- Contrastar los resultados del estudio con una fase de trabajo de campo en el parque.

Futuras líneas de investigación

Finalmente, a la vista de lo desarrollado, sería de interés continuar la investigación en las siguientes líneas:

- El estudio de la implementación de un sistema de reservas para los autobuses lanzadera sería de gran valor para los gestores del parque. Como hemos visto, al fluctuar el número de visitantes diarios, pero tener ya contratados una determinada cantidad de autobuses, se genera un exceso de capacidad de transporte que pagamos, pero no aprovechamos. Con un sistema de reserva, se podría optimizar, planificar y emplear más eficientemente el sistema de lanzaderas.
- Este modelo, concebido como sistema dinámico, podría ser una pieza elemental dentro la simulación de un modelo mucho amplio. En las entradas, se podrían tener en cuenta los factores que afectan a nuestra variable exógena, el número de visitantes diarios. Habría que valorar la capacidad hotelera, la demanda turística para visitar el parque, y cómo influye sobre ésta la política de precios, no sólo del parque, sino de la red turística de la zona. En cuanto a las salidas, son múltiples los aspectos a valorar. Desde el ámbito de la sostenibilidad medioambiental, se tendría en cuenta el impacto ambiental de los visitantes: erosión, ruidos, residuos, huella de carbono, huella hídrica, consumo de recursos y energía, etc. Esto podría servir también para analizar el uso de los medios de transporte, viendo qué efecto tendría por ejemplo apostar por medios de transporte más

sostenibles, como los vehículos eléctricos, para la movilidad en el parque. Un modelo de esta envergadura también permitiría evaluar el coste-beneficio, desde un punto de vista medioambiental, de las estrategias que se adopten en cuanto a construcción de nuevas infraestructuras para favorecer los accesos y la movilidad en el parque. Aspectos como la saturación de los senderos y otras zonas del parque son importantes también de cara a la valoración de la calidad de la experiencia por parte del visitante. Finalmente, como salida del sistema se obtendrían datos para su traducción en términos socioeconómicos: ingresos generados, empleo, impacto sobre las comunidades rurales, etc.

- Todos estos aspectos también podrían pasar a analizarse no sólo de manera intradía, como en el presente estudio, sino en un plazo de tiempo mayor.
- A largo plazo, estos estudios propuestos podrían servir para crear una aplicación informática específica para la gestión de parques nacionales, en la que se incluyese un sistema más complejo y detallado, que incluso podría implementar la entrada de datos en tiempo real para poder analizar y adoptar decisiones de manera prácticamente inmediata. Estos datos en tiempo real podrían provenir de soluciones técnicas ya existentes como aforadores o estudios de conexiones a través de antenas de telefonía móvil.

Modelo en temporada baja

En el caso de que quisiéramos simular la dinámica del parque en temporada baja, se trataría de simplificar el modelo, suprimiendo todo lo relativo a las lanzaderas, dejando sólo el parking de la Pradera de Ordesa, con capacidad para 550 vehículos, al cual se puede acceder directamente el resto del año en vehículo, ya sea turismo o autobús.

Como ejemplo para ilustrar la dinámica de un día en temporada baja, se ha tomado como valor de visitantes diarios 500, y se ha generado una tabla “Lookup” para el flujo de salida de los visitantes (variable *Regreso por hora*), manteniendo iguales el resto de parámetros del modelo anterior, pero sin lanzaderas.

En los resultados vemos cómo, manteniendo el resto de valores de uso de turismos y autobuses, el parking no se llega a llenar, algo lógico ya que harían falta muchos más visitantes para completar esas 550 plazas de aparcamiento.

Igualmente, no hay esperas para acceder a la pradera ya que se está en todo momento por debajo de la capacidad de carga máxima.

Al acabar el día, con el flujo de salida simulado, el sistema se vacía de visitantes y vehículos.

Este mismo modelo de temporada baja también lo podríamos aplicar al resto de sectores del parque (Escuaín, Pineta, Añisclo), ya que se comportan todo el año de esta manera. Bastaría simplemente con aplicar a cada sector su capacidad de carga correspondiente, y la estimación de visitantes diarios en función de las estadísticas conocidas.

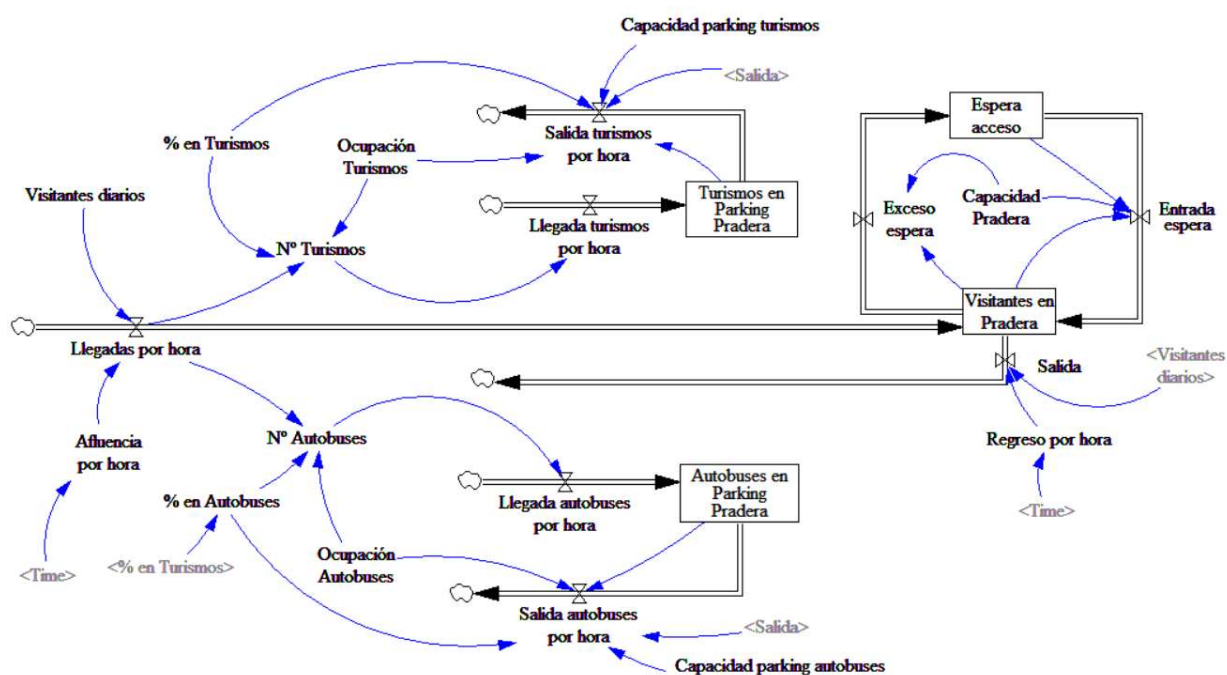


Fig. 4.19.- Modelo en temporada baja

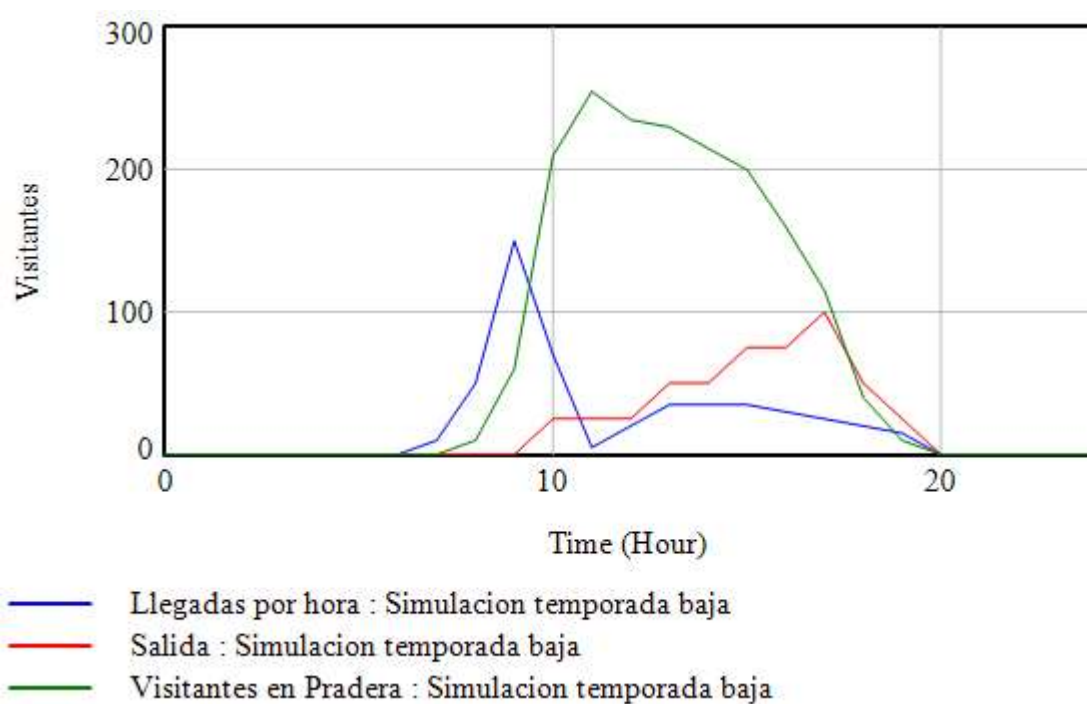


Fig. 4.20.- Llegadas y salidas en temporada baja. Visitantes en pradera en temporada baja.

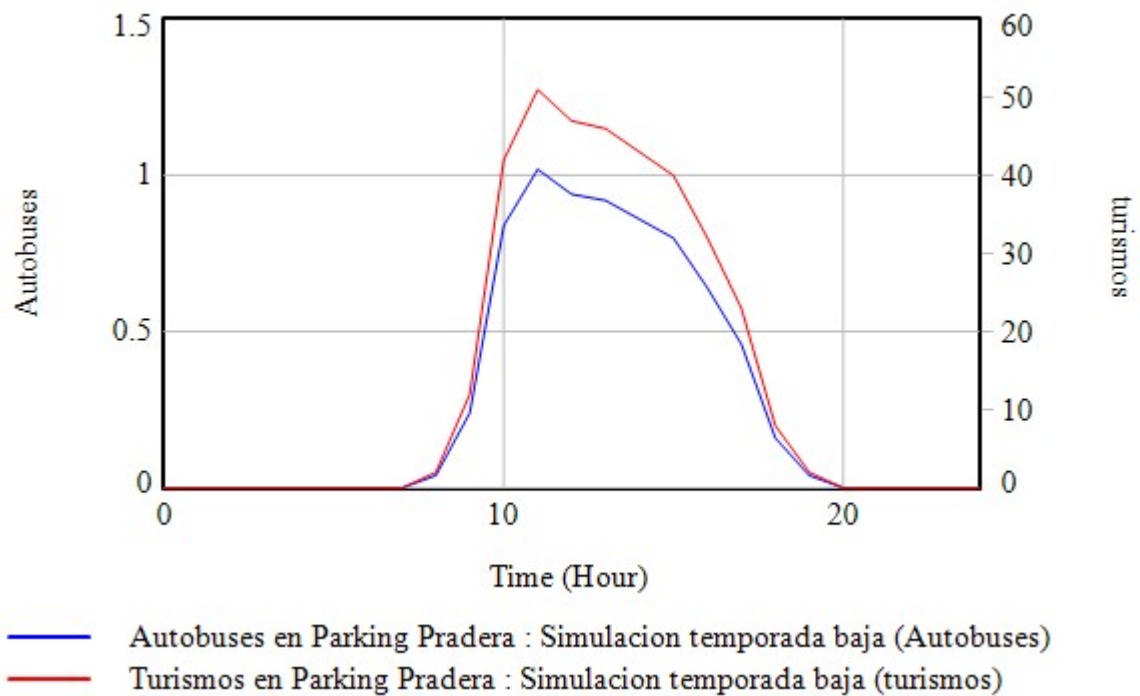


Fig. 4.21.- Ocupación parking en temporada baja

NOTA

Estos modelos y escenarios se adjuntan a este estudio en soporte informático como *ANEXO III- Archivos en soporte informático* con la denominación *Modelo TORLA.mdl*, *Simulación inicial.vdf*, escenarios *A1.vdf*, *A2.vdf*, *B1.vdf*, *B2.vdf*, y *Modelo TORLA Temporada baja.mdl*, para su ejecución en *Vensim PLE for Windows*, versión 7.2a.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

El resultado de toda la actividad investigadora desarrollada durante este estudio es la creación del modelo de sistema dinámico descrito.

Este modelo construido para el caso del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido ha puesto de relieve las intrincadas relaciones entre el flujo de visitantes, las zonas de aparcamiento y el sistema de autobuses lanzaderas. El objeto del estudio se ha centrado en el sector de Ordesa.

El modelo describe el comportamiento dinámico del flujo de visitantes que acceden en vehículo durante un día “tipo” de verano al parque, y cómo a través de un sistema de autobuses lanzadera llegan al inicio de los senderos, regresando a los aparcamientos una vez finalizada la visita.

Se ha demostrado cómo el elemento más trascendente para poder alcanzar la capacidad de carga del sector Ordesa es la cantidad de visitantes que puede movilizar el sistema de autobuses lanzadera, que viene determinada por la frecuencia y el número de autobuses.

Con respecto a la saturación de las zonas de aparcamiento, la política más adecuada sería fomentar el empleo del transporte público, y compartir el uso de turismos.

El modelo en este estudio se sustenta en un sistema dinámico hipotético, que permitirá a los usuarios de modelo introducir datos y nuevos valores de variables, con los que comparar distintitos escenarios. Por ello, este modelo constituye una importante herramienta con la que explorar los vínculos entre las diferentes partes del sistema.

Este modelo podría acomodarse perfectamente en un sistema de dinámico aún mayor. El modelo presentado en este estudio revela cómo es posible analizar qué política de gestión del parque puede tener un mayor impacto a la hora de aumentar o restringir las visitas al mismo. Estas visitas diarias están fuertemente vinculadas con la capacidad de carga del sector Ordesa. Y a su vez,

esta noción de capacidad de carga es crucial, no sólo para la sostenibilidad medioambiental del espacio, sino también para la calidad de la experiencia que recibe el visitante.

Por lo tanto, aunque el estudio ha pretendido brindar una herramienta para mejorar la gestión del parque, el modelo no da las respuestas en sí mismo, pero sí proporciona información sobre las consecuencias de adoptar una postura u otra, al disponer de un modelo de dinámica de sistemas con el que simular diferentes escenarios y así adoptar las estrategias necesarias.

Así, este modelo podría representar la piedra angular sobre la que construir modelos más avanzados, tanto desde la metodología de la dinámica de sistemas, como hasta incluso poder combinarse con trabajos más descriptivos y cualitativos en el ámbito de los estudios socioeconómicos.

Además, este estudio supone una nueva prueba de la validez de *Vensim* para el desarrollo de modelos intradía, lo que supone una importante mejora al permitir aplicar la dinámica de sistemas a casos que hasta el momento se habían abordado mayoritariamente desde otras metodologías.

Igualmente, este estudio confirma la validez y vigencia de los resultados de los estudios científicos precedentes sobre modelos de sistemas dinámicos aplicados a la gestión de parques nacionales. Las conclusiones de estos estudios pueden ser extrapoladas a otros modelos y estudios de caso realizando las adaptaciones oportunas.

Hay que destacar que el principal objetivo de este estudio ha sido confirmar la hipótesis inicial y finalmente se ha podido concluir que *la dinámica de sistemas aplicada a la sostenibilidad ambiental es útil para la gestión del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*.

De esta manera, se puede afirmar que este estudio ha demostrado la utilidad de los modelos de dinámica de sistemas para ayudar a la gestión de las visitas a un parque nacional y que en el futuro podría extenderse a otras áreas de la administración del parque.

Por último, este estudio aporta una contribución al reto que supone en la actualidad la gestión de espacios naturales, buscando el equilibrio entre el acceso de visitantes y la sostenibilidad medioambiental.

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Abellán, M., Del Cerro, A., 2000. Propuesta de un modelo para identificar impactos ambientales del turismo en espacios naturales. Cuadernos de Turismo 5, 7-17.
- Bonache, J., De Mingo-Sancho, G., Serrada, J., Amengual, P., Perales, J., Martínez, R., Rodado, S., Albornos, E., 2015. El seguimiento y la evaluación a largo plazo en la Red española de Parques Nacionales: Revista Ecosistemas 25, 31-48.
- Ciscar, J. C., 1995. Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Análisis Coste-Beneficio. Madrid: Ministerio de Economía y Hacienda.
- Cole, D., 2005. Case Studies of Simulation Models of Recreation Use. Washington: USDA Forest Service.
- Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, 2015. Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su Zona Periférica de Protección. Zaragoza: Gobierno de Aragón.
- Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, 2018. Información turística de interés, año 2018, Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Zaragoza: Gobierno de Aragón.
- Ecologistas en Acción, Greenpeace, SEO/BirdLife, WWF/Adena, 2002. 225 medidas para el Desarrollo Sostenible. Alternativas a la Estrategia Española de Desarrollo. Madrid.
- Ford, A., Nguyen, T., Beall, A., 2012. Modeling Support for National Park Planning: Initial Results from Glacier National Park. Pullman: Washington State University.
- Forrester, J.W., 1961, Industrial Dynamics. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.
- Forrester, J. W., 1992. System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. Cambridge: MIT Press.

- Gimblett, R., Roberts, C. A., Daniel, T. C., Ratliff, M., Meitner, M. J., Cherry, S., Stallman, D., Bogle, R., Allred, R., Kilbourne, D., Bieri, J., 2000. An Intelligent Agent Based Model for Simulating and Evaluating River Trip Scenarios Along the Colorado River in Grand Canyon National Park. En R. Gimblett (Ed.), Integrating GIS and Agent based modeling techniques for Understanding Social and Ecological Processes (págs. 245-275). Santa Fe: Oxford University Press.
- González-Busto, B., 1998, La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Hernández, J. C., 2017. Parque Nacional del Teide. Visita actual y retos de futuro. Tenerife: Universidad de la Laguna, Jornadas sobre la movilidad en los Parques Nacionales.
- Hijano, N., 2017. Movilidad sostenible en los espacios naturales protegidos: participación del sector privado en la gestión. Rascafría: Montnature. Centro de Difusión del Patrimonio Natural y Cultural de Montaña.
- Manning, R. 2002. Estimating day use social carrying capacity in Yosemite national park. Leisure/Loisir 27, 77-102.
- Marquina, L., 1997. Uso público en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Algunas reflexiones sobre su gestión. Segovia: Centro Nacional de Educación Ambiental.
- Marquina, L., 2003. La gestión en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Revista Ambianta, suplemento Parques Nacionales, julio-agosto 2003, 7-12.
- Marquina, L., 2017. La regulación de accesos en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido Autobuses lanzadera en el valle de Ordesa. Huesca: Equipo de Uso Público del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., 2012. The Limits to Growth, the 30-Year Update. Durham: Chelsea Green Publishing.
- Nguyen, T., 2012. System dynamics simulation for park management: a case study of Glacier National Park, Montana. (Tesis del Doctorado de la Escuela de Medio Ambiente, Washington State University, 2012). Obtenido de <https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/handle/2376/4096>
- Número de visitantes a los Parques Nacionales. Años 1989-2015. (n.d.). Obtenido el 10 de julio de 2018, del Instituto Aragonés de Estadística: http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonésEstadística/ÁreasTemáticas/14_Medio_Ambiente_Y_Energía/ci.09_Naturaleza_biodiversidad.detalleDepartamento?channelSelected=0
- Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 2015. Memoria de la Red de Parques Nacionales. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 2015. Tercer Informe de situación de la Red de Parques Nacionales (2011-2013). Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

- Pulido, J. I., 2003. Hacia un modelo de gestión turística sostenible de los espacios naturales protegidos. Su aplicación al caso andaluz. Jaén: XII Simposio Internacional de Turismo y Ocio
- Rada, B., Marquina, L., Viñuales, E., 2011. Guía de Visita. Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- Roberts, C. A., Bieri, J. A., 2001. Impacts of Low flow Rates on Recreational Rafting Traffic on the Colorado River in Grand Canyon National Park. Arizona: Grand Canyon Monitoring and Research Center.
- Um, E., Momo, F., 2010. Modelo de simulación del turismo ecológico en la isla de Gran Canaria basado en un modelo de simulación con *Vensim*. Boletín de Dinámica de Sistemas. Obtenido de <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/1210c.htm>
- Vielva, J. A., 2017. La movilidad en el interior de los espacios protegidos. Centro de investigación seguimiento y evaluación del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Tenerife: Universidad de la Laguna, Jornadas sobre la movilidad en los Parques Nacionales
- White, D. D., Tschuor, S., Byrne, B., 2012. Assessing and Modeling Visitors' Evaluations of Park Road Conditions in Yosemite National Park. Hancock: The George Wright Forum.

ANEXO I

TABLAS ESTADÍSTICAS

ESTIMACION VISITAS P. N. Ordesa y Monte Perdido AÑO 2014

	ORDESA	PINETA	AÑISCLO	ESCUAIN	TOTAL
ENERO	1.450	2.050	1.550	750	5.800
FEBRERO	2.450	2.900	1.900	650	7.900
MARZO	10.250	8.950	9.900	2.000	31.100
ABRIL	18.400	17.800	15.500	2.550	54.250
MAYO	15.800	13.900	12.150	3.250	45.100
JUNIO	20.500	15.150	17.750	4.150	57.550
JULIO	34.450	27.700	29.300	6.600	98.050
AGOSTO	48.850	44.650	45.450	9.550	148.500
SEPTIEMBRE	20.700	17.450	18.650	4.850	61.650
OCTUBRE	17.750	11.150	11.250	2.950	43.100
NOVIEMBRE	7.950	7.950	7.050	950	23.900
TOTAL	203.000	174.450	173.650	38.950	590.050
	34%	30%	29%	7%	

Capacidad de acogida diaria

<u>PARKING TORLA</u>	ORDESA	PINETA	AÑISCLO	ESCUAIN	TOTAL
386 vehículos	1800	900	650	325	3675
17 autobuses	49%	24%	18%	9%	

CONTEO PERSONAS DIAS 4 AGOSTO DE 1994

7 A 8	73	2%
8 A 9	327	10%
9 A 10	951	30%
10 A 11	435	14%
11 A 12	37	1%
12 A 13	141	4%
13 A 14	227	7%
14 A 15	235	7%
15 A 16	215	7%
16 A 17	193	6%
17 A 18	148	5%
18 A 19	117	4%
19 A 20	93	3%
20 A 21	19	1%
TOTAL	3211	

Autobuses* agosto 2009

<i>Período</i>	Nº días	Nº bus/día	Total
AGOSTO			
<i>1 a 9</i>	9	6	54
<i>10 a 15</i>	6	8	48
<i>16</i>	1	7	7
<i>17 a 21</i>	5	6	30
<i>22</i>	1	7	7
<i>23</i>	1	6	6
<i>24 a 28</i>	5	4	20
<i>29</i>	1	6	6
<i>30</i>	1	5	5
<i>31</i>	1	3	3
		Media 5,8	186

**capacidad de 50-60 plazas*

Infraestructuras de la Red de Parques Nacionales (2013)

	Centros de Visitantes	Centros de Información	Aparcamientos	Miradores
<i>Ordesa y Monte Perdido</i>	2	6	4	30

VISITANTES MES DE AGOSTO

DIA	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
01-ago	533	1259	1059	970	1196	749	1403	1040	1114	667	1443
02-ago	1709	1546	1025	1228	968	688	1621	1175	1042	552	1638
03-ago	1984	1383	1385	1131	1443	1906	1747	1287	1334	1211	1717
04-ago	1898	1757	1467	1704	2068	1941	1815	1223	1048	1207	1392
05-ago	1685	1494	1326	1873	2077	1685	1009	603	1601	1968	2442
06-ago	1637	1350	888	1957	1834	1837	1229	1375	1922	2165	2137
07-ago	1354	1759	689	1921	1489	1667	905	2265	995	1938	1833
08-ago	1771	2000	2341	1894	1276	1164	1909	2090	1935	999	388
09-ago	1997	2022	2364	1870	741	1687	2045	1733	1960	1082	2269
10-ago	1827	2030	1821	1474	1948	2094	2076	1336	1723	1698	2454
11-ago	1413	1769	1563	1315	2109	1985	1838	1342	1203	1908	2443
12-ago	2075	1701	1220	2222	2036	1816	1617	1355	1721	1616	1860
13-ago	1998	1932	1580	2363	1850	1624	1430	1820	892	1822	961
14-ago	2022	2080	2068	967	1681	1370	1718	1782	2366	1991	1804
15-ago	1590	1066	1669	2320	1441	1340	1668	1467	1867	2146	1149
16-ago	1954	1725	1932	1833	1136	1575	1810	1743	1746	2040	1984
17-ago	2073	1754	1924	1256	1627	1985	1897	1607	1188	1415	1676
18-ago	1586	1580	1840	1706	1915	1991	1318	1373	1413	1737	1755
19-ago	2127	1905	1039	2078	1902	1362	2027	1036	1425	1321	2473
20-ago	1559	1437	1596	2153	1844	1776	1462	1397	2177	1288	2376
21-ago	1070	1755	1152	2010	1635	1667	919	1634	2110	1939	1859
22-ago	1425	1797	1755	1151	1450	1009	1301	1745	1627	673	729
23-ago	1604	1825	1352	1412	1009	1260	1632	1397	1396	2111	585
24-ago	1662	1583	1585	1013	1119	1415	1366	1369	1149	1167	1482
25-ago	1478	1136	1068	1170	563	1397	1108	1317	1002	1512	1782
26-ago	1035	1180	903	1289	1604	1238	774	758	1092	1448	1632
27-ago	508	722	1095	1320	1407	972	1463	981	1166	1294	1500
28-ago	802	930	1167	1114	1069	1005	694	930	1179	970	1162
29-ago	699	931	820	811	1135	651	713	718	952	626	1218
30-ago	708	827	882	828	480	630	702	520	796	646	806
31-ago	541	662	671	422	517	632	548	750	917	649	558
TOTAL	46324	46897	43246	46775	44569	44118	43764	41168	44058	43806	49507

ESTIMACION DE LA VISITA AL P.N.O.M.P. AÑO 2013					
	ORDESA	PINETA	AÑISCLO	ESCUAIN	TOTAL
ENERO	1.500	2.000	1.600	750	5.850
FEBRERO	2.400	2.850	1.850	650	7.750
MARZO	11.650	9.500	11.250	2.300	34.700
ABRIL	16.400	15.900	13.950	2.400	48.650
MAYO	15.400	13.800	11.850	3.050	44.100
JUNIO	20.300	15.000	17.300	4.100	56.700
JULIO	34.100	28.450	29.000	6.550	98.100
AGOSTO	51.950	45.850	45.000	9.800	152.600
SEPTIEMBRE	20.500	17.300	18.200	4.800	60.800
OCTUBRE	17.500	10.850	10.950	3.050	42.350
NOVIEMBRE	7.750	8.450	7.250	950	24.400
DICIEMBRE	4.200	4.750	3.750	700	13.400
TOTAL	203.650	174.700	171.950	39.100	589.400

ESTIMACION VISITA P.N.Ordesa y Monte Perdido AÑO 2014					
	ORDESA	PINETA	AÑISCLO	ESCUAIN	TOTAL
ENERO	1.450	2.050	1.550	750	5.800
FEBRERO	2.450	2.900	1.900	650	7.900
MARZO	10.250	8.950	9.900	2.000	31.100
ABRIL	18.400	17.800	15.500	2.550	54.250
MAYO	15.800	13.900	12.150	3.250	45.100
JUNIO	20.500	15.150	17.750	4.150	57.550
JULIO	34.450	27.700	29.300	6.600	98.050
AGOSTO	48.850	44.650	45.450	9.550	148.500
SEPTIEMBRE	20.700	17.450	18.650	4.850	61.650
OCTUBRE	17.750	11.150	11.250	2.950	43.100
NOVIEMBRE	7.950	7.950	7.050	950	23.900
DICIEMBRE	4.450	4.800	3.200	700	13.150
TOTAL	203.000	174.450	173.650	38.950	590.050

ESTIMACION VISITA P.N.Ordesa y Monte Perdido AÑO 2015					
	ORDESA	PINETA	AÑISCLO	ESCUAIN	TOTAL
ENERO	1.550	2.000	1.600	750	5.900
FEBRERO	2.500	2.950	1.850	650	7.950
MARZO	10.850	9.500	10.500	2.100	32.950
ABRIL	18.650	18.050	15.650	2.500	54.850
MAYO	16.000	14.100	11.850	3.300	45.250
JUNIO	19.950	15.300	16.700	4.050	56.000
JULIO	34.800	28.400	29.600	6.650	99.450
AGOSTO	51.800	45.800	44.250	9.800	151.650
SEPTIEMBRE	20.900	17.000	18.150	5.000	61.050
OCTUBRE	18.800	11.800	11.950	3.050	45.600
NOVIEMBRE	8.150	8.150	7.250	950	24.500
DICIEMBRE	4.700	5.100	3.300	700	13.800
TOTAL	208.650	178.150	172.650	39.500	598.950

ESTIMACION VISITA P.N.Ordesa y Monte Perdido AÑO 2016					
	ORDESA	PINETA	AÑISCLO	ESCUAIN	TOTAL
ENERO	1.550	2.050	1.700	750	6.050
FEBRERO	2.550	3.050	1.950	650	8.200
MARZO	11.500	10.050	11.150	2.250	34.950
ABRIL	17.750	16.950	14.700	1.950	51.350
MAYO	16.200	13.750	12.000	3.350	45.300
JUNIO	19.950	15.700	16.850	4.100	56.600
JULIO	37.000	30.100	30.350	6.700	104.150
AGOSTO	54.900	46.300	45.400	9.550	156.150
SEPTIEMBRE	21.450	17.150	18.350	5.150	62.100
OCTUBRE	19.300	12.100	12.650	1.150	45.200
NOVIEMBRE	7.950	8.350	7.450	950	24.700
DICIEMBRE	4.750	5.250	3.500	700	14.200
TOTAL	214.850	180.800	176.050	37.250	608.950

<i>ESTIMACION VISITA P.N.Ordesa y Monte Perdido AÑO 2017</i>					
	ORDESA	PINETA	AÑISCLO	ESCUAIN	TOTAL
ENERO	1.500	2.000	1.650	750	5.900
FEBRERO	2.500	2.850	1.950	600	7.900
MARZO	10.800	8.850	10.500	2.000	32.150
ABRIL	18.200	17.950	15.600	2.200	53.950
MAYO	16.400	13.950	8.000	3.400	41.750
JUNIO	20.450	15.850	11.250	4.000	51.550
JULIO	37.350	30.400	20.250	6.750	94.750
AGOSTO	55.450	47.500	30.250	9.650	142.850
SEPTIEMBRE	22.750	17.600	12.250	5.300	57.900
OCTUBRE	20.400	12.800	8.450	1.200	42.850
NOVIEMBRE	8.050	8.150	4.950	950	22.100
DICIEMBRE	4.800	5.400	2.350	750	13.300
TOTAL	218.650	183.300	127.450	37.550	566.950



**Información
estadística
de Aragón**

Medio Ambiente y Energía

Naturaleza y Biodiversidad / Parques Nacionales

Porcentaje de Visitantes en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido sobre el total de Parques nacionales. Años 1989-2015.

Unidad: N° de personas.

Año	N° de visitantes en Ordesa y Monte Perdido	N° de visitantes en todos los parques nacionales	% PN Ordesa sobre total Parques Nacionales
2015	598.950	14.429.535	4,15
2014	590.050	13.734.615	4,30
2013	589.400	11.559.585	5,10
2012	607.450	9.539.910	6,37
2011	612.500	10.290.978	5,95
2010	614.059	9.610.447	6,39
2009	617.500	10.083.561	6,12
2008	616.600	10.222.818	6,03
2007	617.950	10.864.738	5,69
2006	616.700	10.979.470	5,62
2005	592.100	11.260.920	5,26
2004	582.800	11.134.880	5,23
2003	619.700	10.296.382	6,02
2002	622.014	9.661.493	6,44
2001	657.045	10.002.517	6,57
2000	635.876	10.252.799	6,20
1999	624.263	9.927.726	6,29
1998	603.004	9.076.653	6,64
1997	601.500	8.862.218	6,79
1996	624.503	8.469.074	7,37
1995	702.700	6.807.890	10,32
1994	650.000	6.770.250	9,60
1993	650.000	6.154.747	10,56
1992	600.000	5.626.557	10,66
1991	585.000	5.402.412	10,83
1990	500.000	3.716.183	13,45
1989	450.000	3.526.602	12,76

Publicación: © Instituto Aragonés de Estadística (IAEST), 10 de agosto de 2016.

Fuente: Espacios naturales protegidos (INE), Red de Parques Nacionales (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

ANEXO II

REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Mapa del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido



Gráfico informativo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido



Centro de visitantes de Torla y parking¹



Parking centro de visitantes Torla²

¹ Obtenido el 23 de julio de 2018 en <https://es.wikiloc.com/rutas-coche/centro-de-visitantes-del-parque-nacional-ordesa-y-monte-perdido-en-torla-huesca-9183006/photo-5442406> Usuario: julio.guijarro

² Obtenido el 23 de julio de 2018 en <https://www.plazatio.com/es/proyecto/centro-de-visitantes-de-torla>



Autobuses lanzadera saliendo de Torla³



Llegada de los autobuses a la pradera de Ordesa⁴

³ Obtenido el 23 de julio de 2018 en <http://www.turismosobrarbe.com/agenda/2018/04/horarios-autobuses-torla-la-pradera-torla-puente-de-mayo-de-2018/>

⁴ Obtenido el 23 de julio de 2018 en <http://www.rutasyfotos.com/2009/02/pradera-de-ordesa-cola-de-caballo.html>

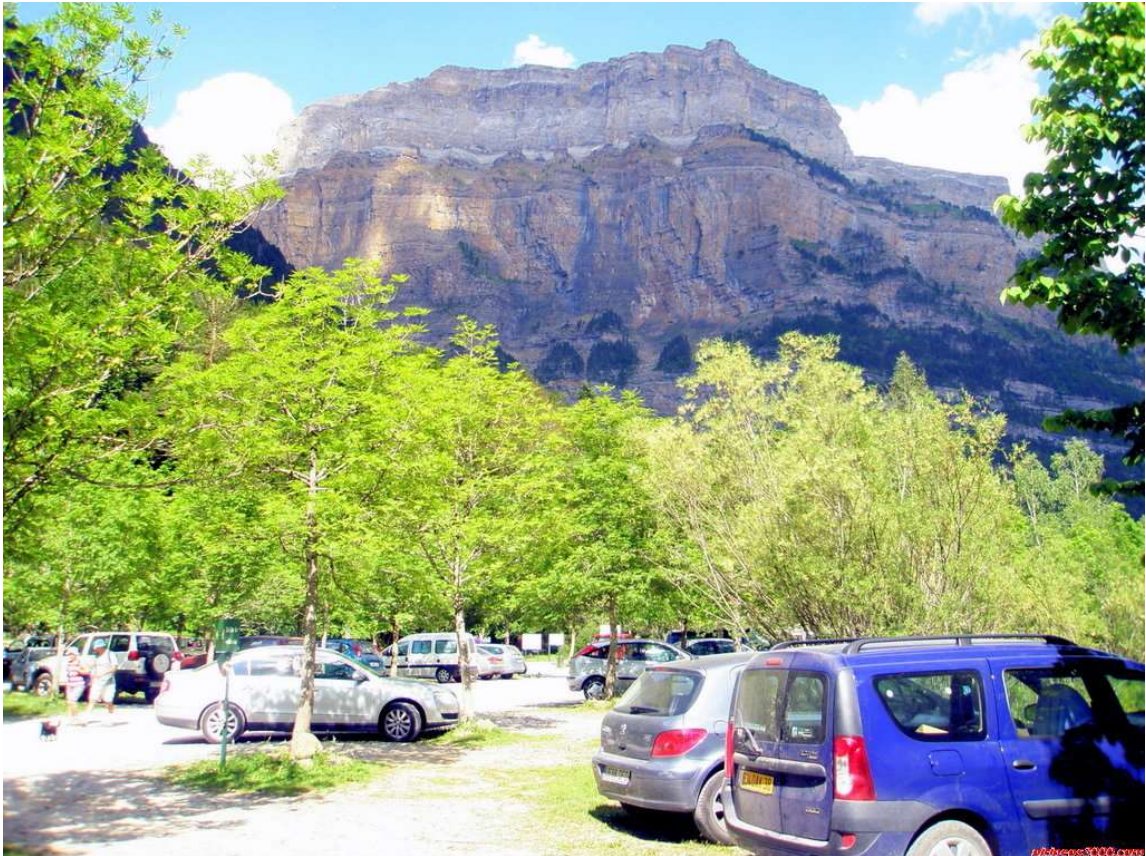


Estacionamiento de La Pradera de Ordesa



CAPACIDAD +/- 550 vehículos

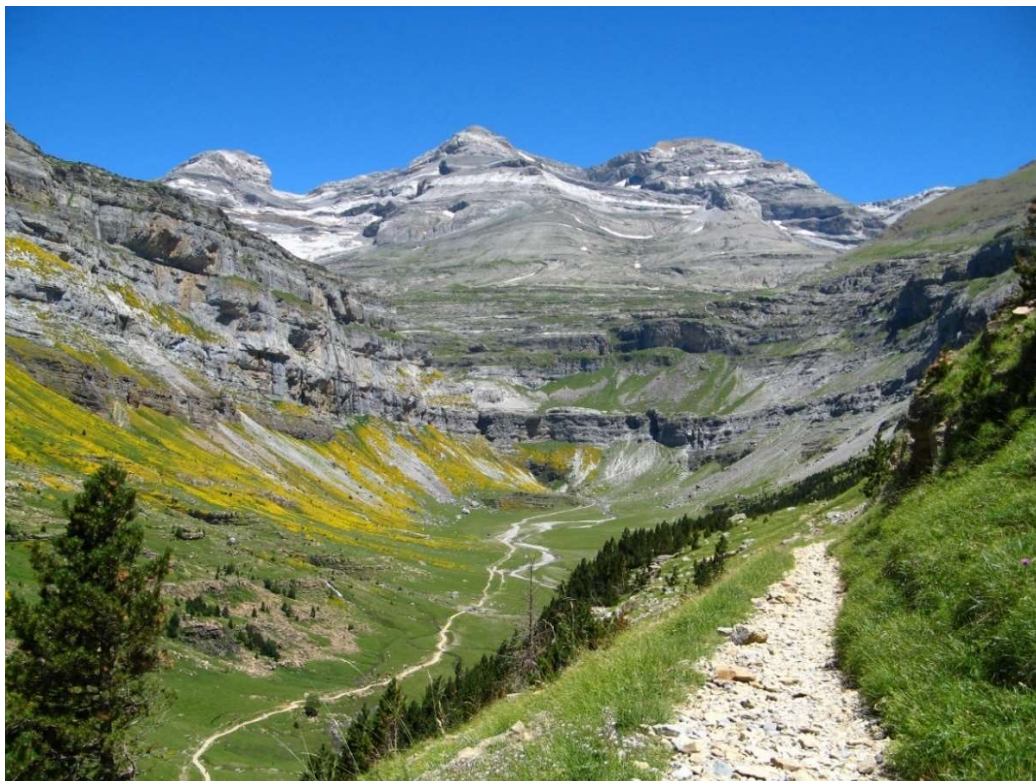
Parking de la pradera de Ordesa⁵



Aparcamiento en la pradera de Ordesa (temporada baja)⁶

⁵ Marquina, L., 2017. La regulación de accesos en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido Autobuses lanzadera en el valle de Ordesa. Huesca: Equipo de Uso Público del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

⁶ Obtenido el 23 de julio de 2018 en http://www.pirineos3000.com/servlet/DescripcionAscension/MONTANA--Monte_Perdido--IDASCENSION--18402.html Usuario: javierza



Circo de Soaso y Monte Perdido⁷



Senderos de la pradera de Ordesa⁸

⁷ Rouzet, P. 18 de julio de 2009.

⁸ Obtenido el 23 de julio de 2018 en <http://www.geoturismo.es/?contenido=foto&ruta=10&foto=576>
Licencia Creative Commons "Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 España".



Foto de portada⁹

⁹ Obtenido el 23 de julio de 2018 en <https://pixabay.com/es/valle-de-ordeva-espa%C3%B1a-pirineos-1692789/>
Usuario: lotokoto. Licencia CC0 Creative Commons.